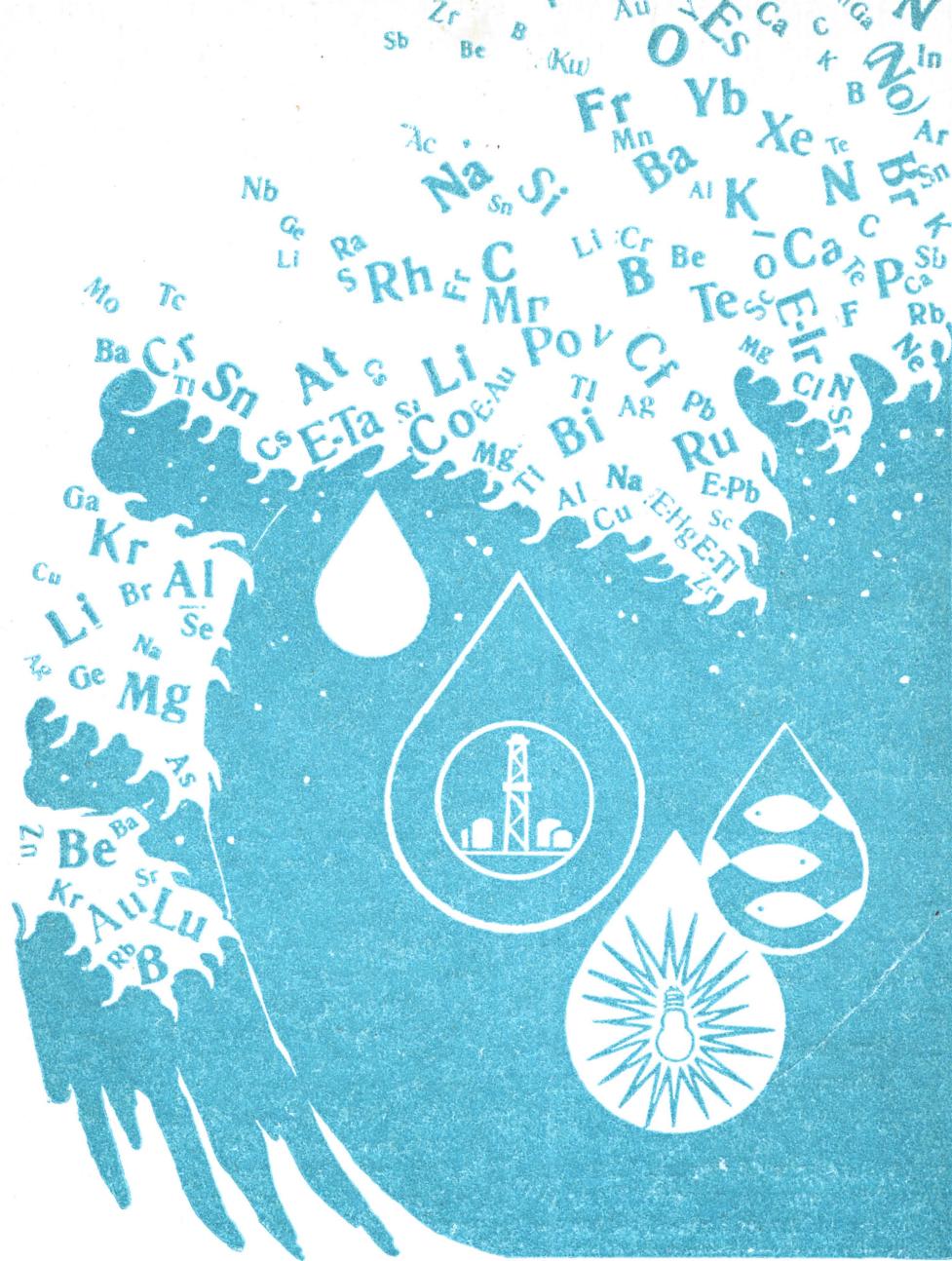




1 1974

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

АСТРОНОМИЯ · ГЕОФИЗИКА
ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Полет космического корабля «Союз-13»



Командир космического корабля «Союз-13»
Петр Ильич Климух



Бортинженер космического корабля «Союз-13»
Валентин Витальевич Лебедев

18 декабря 1973 года в Советском Союзе был запущен космический корабль «Союз-13», пилотируемый экипажем в составе командира корабля майора Климука Петра Ильича и бортинженера Лебедева Валентина Витальевича.

26 декабря 1973 года в 11 часов 50 минут по московскому времени спускаемый аппарат космического корабля «Союз-13» совершил мягкую посадку на территории Советского Союза в 200 километрах юго-западнее города Караганды.

В ходе восьмисуточного орбитального полета проведены разнообразные научно-технические исследования и эксперименты.

С помощью системы телескопов «Орион-2» получены спектрограммы звезд в различных созвездиях в ультрафиолетовом диапазоне.

Во время полета проводились спектрографирование и многозональная съемка участков земной поверхности с целью изучения природных образований на территории Советского Союза в интересах народного хозяйства.

По программе медико-биологических исследований с использованием аппаратуры «Левкой» изучались особенности кровообращения головного мозга в различных стадиях периода адаптации. В условиях невесомости с помощью системы «Оазис-2» исследовались возможности получения белковой биомассы.

При выполнении научных экспериментов отрабатывались усовершенствованные приборы и методы ориентации, обеспечивающие высокую точность наведения телескопов.

На всех этапах полета системы корабля «Союз-13» и установленная на его борту научная аппаратура работали нормально.

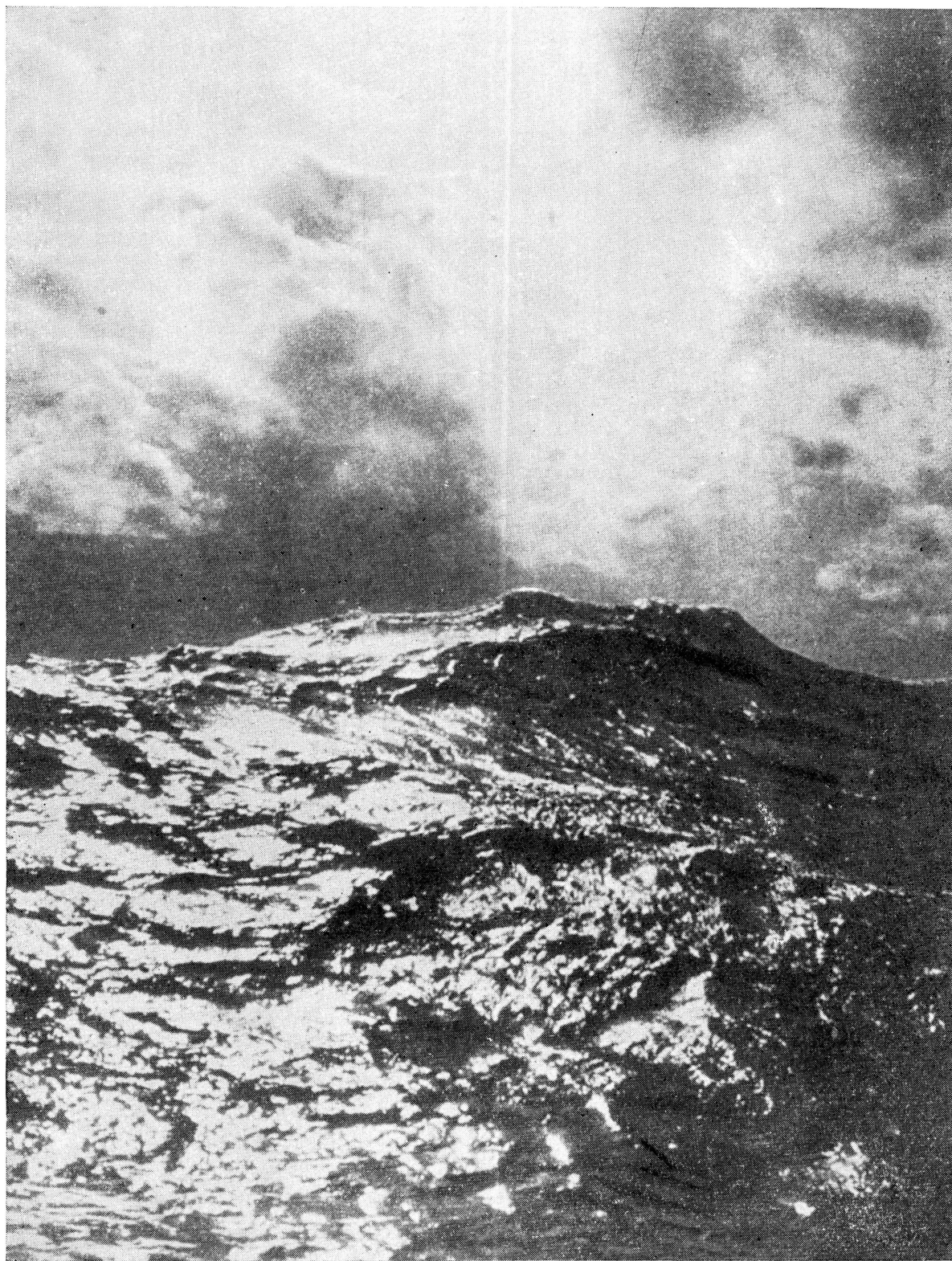
Научно-популярный
журнал
Академии наук СССР
Основан в 1965 году
Выходит 6 раз в год
Издательство «Наука»
Москва

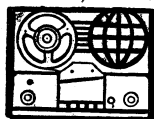
1 ЯНВАРЬ ФЕВРАЛЬ 1974

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

В номере:

Интервью академика Л. М. Бреховских	3
В. Г. Корт — Стратегия океанографических исследований	4
Р. В. Озмидов — Турбулентность в океане	9
А. М. Городницкий, Г. А. Фонарев — Электрическое поле океана	16
Г. В. Агапова, Н. Л. Зенкевич — Глубоководные желоба	22
Е. А. Величко — Руды океана	26
Ю. А. Сурков, Б. М. Андрейчиков — Исследования атмосферы Венеры советскими автоматическими станциями	33
К. Я. Кондратьев — Человек и окружающая среда — наблюдения из космоса	38
Д. Ю. Гольдовский — Спутник ERTS для исследования природных ресурсов	43
В. Б. Соколов — Спасательные операции в космосе	46
В. П. Трубицын — Внутреннее строение планет-гигантов	50
ЭКСПЕДИЦИИ	
С. Б. Новиков, Ю. В. Платов — Затмение в Западной Сахаре	56
ГИПОТЕЗЫ, ДИСКУССИИ, ПРЕДЛОЖЕНИЯ	
Л. И. Фердман — Нефть — откуда она!	62
АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ	
О. М. Лебедева — Задачи по астрономии на уроках математики	67
В ОТДЕЛЕНИЯХ ВАГО	
М. А. Дирикис, Я. М. Клетниекс, Ю. Л. Францман — Четверть века Латвийскому отделению ВАГО	70
ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ	
А. Д. Марленский — Малые телескопы, изготавливаемые в СССР	74
Ю. К. Любимов — Стереофотографии Луны	77
ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ ЧИТАТЕЛЕЙ	
НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ	
Искусственные полярные сияния [32]; Полярные шапки и пылевые бури на Марсе [42]; Удивительные звезды-двойники [49]; Загадочные всплески гамма-излучения [55]; Мощный радиовсплеск в галактике 3С 120 [69].	





НАШИ
ИНТЕРВЬЮ

Мировой океан, занимающий две трети поверхности Земли, оказывает решающее влияние на все процессы, которые формируют условия окружающей человека среды.

Поэтому в нашем журнале неоднократно появлялись материалы о Мировом океане (А. П. Виноградов «Океан и человечество», Л. М. Бреховских, К. Н. Федоров «Полигон-70. Эксперимент в океане», Д. М. Толмазин «Океан в движении» и другие). Публикуемые ниже статьи посвящены различным вопросам природы океана и использованию его ресурсов.

На вопросы редакции журнала отвечает академик-секретарь Отделения океанологии, физики атмосферы и географии Президиума Академии наук СССР академик Л. М. БРЕХОВСКИХ

Какая роль отводится Мировому океану в борьбе за чистоту окружающей среды?

Когда говорят о важности океана для человечества, то обычно упоминают использование океана для транспортных перевозок, использование биологических и минеральных ресурсов океана и его дна, влияние океана на погоду земного шара. Однако при этом часто забывают еще об одной роли океана, по своему значению не уступающей ни одной из перечисленных выше, — роли океана как очистной системы для всей нашей планеты. Бытовые и промышленные отходы, ядохимикаты, используемые в сельском хозяйстве, попадают в реки, по рекам (только частично распадаясь) — в моря и в конечном счете — в Мировой океан. Из атмосферы в океан попадает избыток углекислого газа, радиоактивные загрязнения, окись свинца, получающаяся в результате работы автомобильных двигателей, и другие вредные компоненты.

До недавнего времени океан не только успешно справлялся с переработкой всех загрязнений, но и производил огромное количество биомассы для питания человечества. Но в последние годы из-за катастрофического возрастания количества сбросов в океан его очистительные возможно-

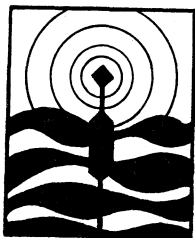
сти начинают исчерпываться. Неразлагающиеся в морской воде ядовитые соединения и отходы стали через биологическую продукцию океана попадать в пищу человека и даже в молоко кормящих матерей. Отсюда ясно, как важна в настоящее время работа о чистоте океана.

Каковы ведущие проблемы океанологии?

Основная задача современной океанологии — построение гидротермодинамической, биологической, химической и геологической моделей океана. Эти модели позволят описывать динамику вод океана, включая взаимодействие его с атмосферой, предсказывать поведение биологических сообществ в океане, рационально использовать минеральные ресурсы океана, иметь данные о различных геофизических и физических полях океана (акустическое и оптическое, магнитное и электрическое поля, поле силы тяжести и так далее). Построение каждой из перечисленных моделей представляет собой исключительно трудную задачу, но быстрое расширение фронта океанологических работ в разных странах и коренное аппаратное перевооружение позволяют ожидать в ближайшие 10—15 лет существенного продвижения.

Каковы сегодня перспективы международного сотрудничества в области изучения Мирового океана?

Важным фактором, обеспечивающим прогресс в изучении океана и использовании его ресурсов, является международное сотрудничество.



Доктор географических наук
В. Г. КОРТ

Стратегия океанографических исследований

ОКЕАН В ДИНАМИКЕ

Масштабы пространственно-временной изменчивости океанологических полей (течение, температура, соленость и другие) колеблются от секунд до тысячелетий во времени и от сантиметров до десятков тысяч километров в пространстве. Распределение энергии океанологических процессов внутри этого широкого диапазона масштабов крайне неравномерно, оно соответствует характеру источников энергоснабжения, масштабам взаимодействия океана с атмосферой, а также масштабам внутренних процессов гидродинамической неустойчивости и волновых движений.

Исследования советских океанографов на долговременном (6 месяцев) гидрофизическом полигоне в центральной части Атлантического океана в 1970 году («Земля и Вселенная», № 3, 1971 г., стр. 6—13.— Прим. ред.) впервые дали наиболее полное представление о спектре изменчивости течений и температуры воды от 15—30 минут до 50—70 суток и от 10 до 200 км. По результатам этих уни-

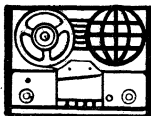
Большая изменчивость физических процессов в океане создает своеобразную океанологическую погоду, ее «мгновенные», сезонные и климатические колебания. Чтобы приблизиться к долгосрочному прогнозу таких колебаний, необходимо пересмотреть основные принципы организации и планирования океанографических исследований — их стратегию.

кальных наблюдений в океане были построены графики спектральной плотности энергии для скорости течений. Оказалось, что энергия в течениях распределена крайне неравномерно. Замечено несколько максимумов, которые определяются полусуточным приливом (максимум энергии приходится на 12,4 часа), суточным приливом (24 часа), инерционными колебаниями (40 часов) и изменчивостью синоптического масшта-

ба (5—6 суток). Аналогичные колебания испытывает и температура воды, причем максимумы, или пики, отмечаются через те же промежутки времени.

Величина отклонений океанологических элементов (температура, соленость, содержание кислорода, нитратов, фосфатов, скорость течения и другие) от их среднего значения очень существенна даже для самых малых масштабов пространственно-временной изменчивости и непосредственно влияет на человеческую деятельность в океане. Если, например, температура воды в некотором районе океана увеличится на два-три градуса или соленость уменьшится на один-два промилле, то экологические условия изменятся тоже, и достаточно быстро. А это может серьезно сказаться на морском промысле. Резкие скачкообразные изменения температуры воды могут приводить к массовым заморам рыбы. Усиление ветрового волнения до 5-6 баллов препятствует плаванию надводных судов. Точность навигации зависит от знания фактического течения в море.

Такое сотрудничество успешно развивается в рамках содружества социалистических стран. В 1973 году заключено соглашение между СССР и США о сотрудничестве в области изучения океана. В частности, намечено совместно изучать строение дна океана с помощью глубоководного бурения. В 1974 году советские ученые планируют принять участие в очень крупном международном эксперименте в районе тропической Атлантики, где



НАШИ
ИНТЕРВЬЮ

будет изучаться океан, атмосфера над ним и взаимодействие их друг с другом.

Что было самым интересным в научном рейсе, из которого Вы только что вернулись?

Я вернулся из экспедиции в Индийский океан на научно-исследовательском судне «Дмитрий Менделеев». Самым интересным для меня было наблюдение мощных внутренних волн (размах по вертикали до 30 м) при полностью спокойном с поверхности океане. Эти волны имели удивительно регулярную структуру.



Изменения температурного поля на огромных просторах океана могут стать причиной аномальной погоды над континентами. Это — явления крупного масштаба. Не менее важны, однако, и микромасштабные процессы. Например, от степени развития турбулентных вихрей в океане зависит скорость распространения всевозможных примесей — как полезных для воспроизводства биологических ресурсов, так и вредных.

Таким образом, учет «погоды» океана на современном этапе его освоения человеком совершенно необходим. В то же время наши знания природы океана, за исключением довольно ограниченного числа районов, еще крайне недостаточны для решения прогностических задач. Ведь в основном физические процессы в океане происходят неперiodически, их можно рассматривать как процессы случайные, стационарные или нестационарные. Поэтому, планируя исследования физических, а также химических и биологических процессов в океане, необходимо исходить из главных требований теории случайных процессов. Наблюдения же надо проводить, имея в виду получение статистически достоверных (значимых) результатов для процесса данного масштаба, то есть для каждого изучаемого процесса того или иного масштаба необходимо определить оптимальную частоту измерений и во времени, и в пространстве, а также общую продолжительность наблюдений. При таком подходе планировать **изучение физических процессов в океане нужно с учетом масштабов пространственно-временной изменчивости.**

МАСШТАБЫ ПРОЦЕССОВ

По аналогии с классификацией метеорологических процессов, в океане можно выделить семь групп пространственно-временных масштабов. К **мелкомасштабным пульсациям** (доли секунды — десятки минут; сантиметры — десятки метров) относятся поверхностные и внутренние волны, турбулентность и вертикальная микроструктура океана. **Мезомасштабные явления** (часы — сутки; сотни метров — десятки километров) — это приливы, инерционные колебания, суточные колебания термического происхождения. **Синоптическую изменчивость** (сутки — месяцы; десятки — сотни километров) имеют крупномасштабные вихри, волны Россби и меандры океанических течений. **Сезонные колебания** (годовой период и его гармоника; сотни — тысячи километров) испытывают те океанологические характеристики, которые обусловлены сезонным ходом солнечной радиации. Кроме того, наблюдается также **междугодичная изменчивость** (несколько лет; сотни — тысячи километров), **внутривековая изменчивость** (периоды в десятки лет; размеры океанов), **междувековые колебания** (периоды в сотни лет и более; размеры океанов). Очевидно, исходя из этих ориентировочных масштабов, следует определять пространственно-временную дискретность наблюдений физических процессов в океане. Дискретность наблюдений по глубине тоже должна быть разной в зависимости от структуры водных масс, положения главного и сезонного термохалоклинов (слоев, где резко меняются температура и соленость) и простран-

венно-временного масштаба изучаемой характеристики. Однако в природе процессы разных масштабов существуют и развиваются одновременно, и мы, как правило, наблюдаем некоторый суммарный эффект. При этом каждый высокочастотный по отношению к соседнему интервал изменчивости (полоса спектра) как бы затухивает интересующий нас процесс. В теории спектрального анализа это называется «белым шумом». Методы статистического анализа временных рядов наблюдений за случайными процессами имеют арсенал средств для отфильтровывания «шумов» как со стороны высокочастотных, так и низкочастотных колебаний. Помимо этого в практике наблюдений случайных процессов обязательно используется достаточно простой прием исключения маскировочной частоты, состоящий в том, что продолжительность измерения выбирается в 1,5—2 раза больше, чем максимальная частота изменчивости исследуемого процесса.

Важным фактором планирования и выбора методики исследований физической изменчивости океана является экономичность исследовательских работ. Например, для изучения междугодичной изменчивости физических процессов в океане естественно выбрать путь, проделанный метеорологами на суше, то есть покрыть весь Мировой океан оптимально густой сетью постоянных океанографических станций, действующих многие годы. Первые результаты такой сети станций, с точки зрения оценки междугодичной изменчивости, будут получены только через 10—15 лет. Чтобы покрыть сетью



наблюдений каждый двухградусный квадрат Мирового океана, необходимо около 7000 океанографических автоматических станций, ежегодная эксплуатация которых, с учетом стоимости самих станций, обойдется в несколько миллиардов рублей. Совершенно очевидно, что это слишком дорогостоящий путь. Между тем в настоящее время Всемирная метеорологическая организация (ВМО) и Межправительственная океанографическая комиссия ЮНЕСКО разрабатывают проект такой глобальной сети океанографических станций — проект ОГСОС («Земля и Вселенная», № 1, 1973 г., стр. 26—28.— Прим. ред.).

Учитывая основные принципы планирования океанографических исследований, можно представить себе следующие подходы к изучению физических процессов в океане по отдельным масштабам пространственно-временной изменчивости.

Для изучения мелкомасштабных явлений не нужно организовывать исследования на больших акваториях океана, а статистически значимый ряд измерений может быть набран за период от нескольких часов до нескольких суток. Целесообразно организовать наблюдения в нескольких пунктах океана или моря, характерных в климатическом и динамическом отношении. Опыт изучения мелкомасштабных процессов показывает, что наиболее рационально использовать стационарные «искусственные

острова», «океанографические башни», а также дрейфующие или заякоренные буйковые океанографические станции. Вполне удовлетворительные результаты измерений мелкомасштабных пульсаций получают с помощью буксируемых стабилизированных турбулиметров и других измерителей. Важно, чтобы эта аппаратура была малоинерционной и имела малогабаритные датчики.

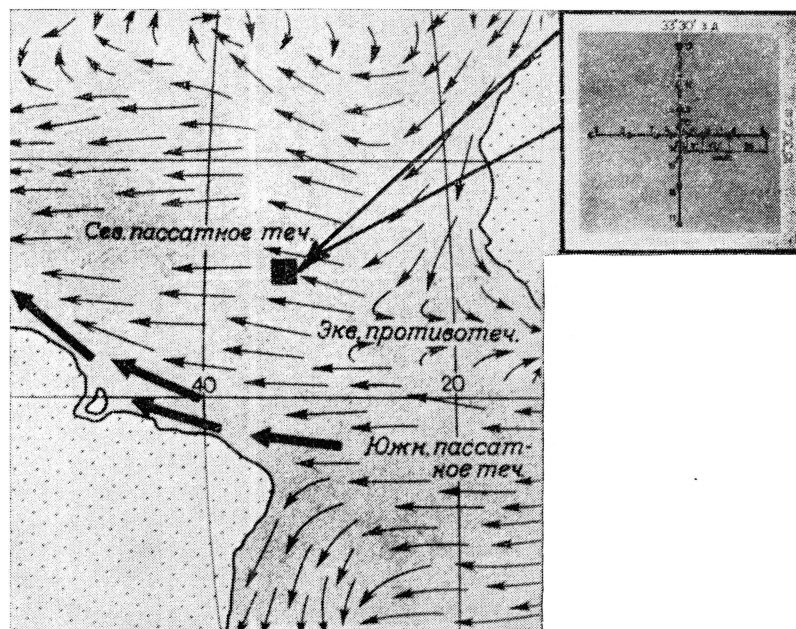
Мезомасштабная изменчивость океанологических полей связана с влиянием суточного хода радиационного режима на поверхности океана, приливообразующими силами Луны и Солнца, а также инерционными колебаниями, зависящими от географической широты. Таким образом, мезомасштабные пульсации должны изучаться по всем климатическим зонам. Наиболее рациональный путь изучения мезомасштабных пульсаций — это многосуточные (до 10—15 суток) наблюдения с заякоренных судов или буйковых океанографических станций, вооруженных автономными или дистанционными измерителями.

Синоптическая изменчивость обязана крупномасштабным вихрям и планетарным волнам. Состояние динамической неустойчивости в струйных океанических течениях и влияние рельефа дна приводит к меандрированию этих потоков. Сложная динамика таких процессов требует детальных и довольно продолжительных (порядка 3—6 месяцев) наблюдений. Изучение синоптической изменчивости основных океанологических полей (течение, температура, соленость) начало развиваться только в последние годы. Наиболее распространен сейчас метод **синхронных**

Телевизионный снимок северной части Атлантического океана с метеорологического спутника. Разнообразная информация о Мировом океане поступает из космоса

океанографических съемок. Синхронные съемки определенных акваторий океанов или морей выполняются одновременно несколькими океанографическими судами. Ведутся глубоководные гидрологические наблюдения при характерных метеорологических ситуациях в течение естественно-синоптического периода (5—7 суток). Более совершенным, но и более трудоемким способом изучения физической изменчивости океана в синоптическом масштабе являются наблюдения на «океанографических полигонах». Акватория океанографического полигона должна соответствовать пространственному масштабу синоптической изменчивости (200—300 км), а сеть буйковых станций с глубоководными самописцами температуры, солености и течения должна быть спланирована заранее.

Учитывая большую трудоемкость подобного рода океанографических работ, океанологические исследования методом долговременных полигонов следует проводить избирательно. Чтобы «поймать» физическую изменчивость в диапазоне собственно синоптических колебаний (в пределах естественно-синоптического периода), достаточно наблюдать на океанографическом полигоне около трех месяцев. Изучение именно этого интервала синоптического масштаба имеет наибольший практический выход. Исследование более низких частот синоптического масштаба изменчивости, связанных с развитием планетарных волн и крупномасштабных вихрей требует двух или трех лет работы на полигоне. Очевидно, наблюдать на таких долговременных океанографических полигонах можно только в



единичных случаях в рамках международного сотрудничества. Что касается «трехмесячных океанографических полигонов», то их проведение вполне реально на уровне национальных программ. Планирование таких полигонов должно предусматривать освещение как различных климатических зон Мирового океана, так и наиболее характерных в динамическом отношении районов. К таким районам в первую очередь относятся зоны сильных и слабых пограничных течений, океанологические фронты, области подъема и опускания вод.

КАКИМИ ДОЛЖНЫ БЫТЬ МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ

В последнее время в океанологические исследования успешно внедряются различные скоростные методы наблюдений — буксировка и зондирование, самолетные съемки и

спутниковые наблюдения. Это весьма перспективные методы для изучения физической изменчивости синоптического масштаба в поверхностных слоях океана. Спутниковые фотографии океанской поверхности как в области видимых, так и в инфракрасных лучах, а также измерения в радиоволновом диапазоне открывают большие возможности для изучения синоптической изменчивости многих океанологических полей. В первую очередь это относится к полям температуры воды и течений (по температуре и цвету), к ледовой обстановке, биологическим скоплениям и ветровому волнению. Поэтому организация и развитие спутниковой (космической) океанографии — одно из важнейших направлений в изучении изменчивости поверхностных слоев океана.

Для изучения сезонной и междугодовой изменчивости физических полей в океане необходимы долговременные (многолетние) наблюдения в постоянных пунктах или районах океанов. Максимальная продолжительность наблюдений для изучения сезонной изменчивости может быть определена в 5—6 лет, а междугодовой изменчивости — в 10—

Схема течений в центральной части Атлантического океана и местоположение «океанографического полигона» во время полугодичного научного эксперимента. 1970 год



15 лет. Поставить такие длительные наблюдения нелегко и недешево. Поэтому до сих пор применяются методы выборочных измерений в характерные сезоны года или в отдельные месяцы. Таким образом, дискретность подобных наблюдений для изучения сезонной изменчивости принимается обычно не более месяца, а для междугодовой изменчивости — 3—6 месяцев в зависимости от климатической зоны района исследований. Например, для изучения междугодовой изменчивости в экваториальной зоне, где нет резких изменений гидрологических характеристик в течение года, достаточно вести наблюдения в летний и зимний сезоны. Наиболее рационально сезонную и междугодовую изменчивость физических процессов наблюдать на стандартных «океанографических разрезах», размещенных в достаточно характерных районах океана (проливах, зонах океанологических фронтов и сильных течений). Проводя многолетние наблюдения на стандартных «океанографических разрезах», нужно помнить о короткопериодных возмущениях. Избавляются от них специальным планированием густоты горизонтов наблюдений и океанографических станций на разрезе и последующим сглаживанием результатов. Однако оценить сезонную и междугодовую изменчивость основных физических полей в океане (температура, соленость, интенсивность течения) можно и проще — по интегральным характеристикам тепло- и солесодержания, определяемым в отдельные моменты времени (например, раз в месяц или сезон). Преимущество интегральных характеристик состоит в

том, что при их расчете автоматически исключается влияние мелкомасштабных пульсаций, так как положительные и отрицательные отклонения от средней величины изучаемой характеристики суммируются.

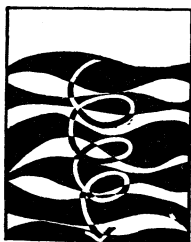
Для развития методов долгосрочных прогнозов погоды океана особенно важны характеристики крупномасштабного теплообмена между океаном и атмосферой и перераспределения тепла в морской воде. Эти характеристики можно получить в результате минимального количества измерений температуры воды на сети стандартных «термических разрезов». Причем длина термических разрезов должна перекрывать максимальную амплитуду горизонтальной миграции океанического потока. Измерения температуры (а в случае использования термосолевондов — и солености) необходимо проводить до нижней границы бароклинного слоя океана (500—800 м). Это — слой, где почти исчезают горизонтальные градиенты плотности и уже не ощущается влияние внешних сил. Изменчивость теплосодержания этого слоя наиболее полно отражает величину крупномасштабного теплообмена океана с атмосферой. Сбор информации с такой сети термических разрезов потребует минимальных усилий и средств и может выполняться попутно (согласно календарю «гидрологических дней») исследовательскими, промысловыми и торговыми судами. Для этого достаточно простейших зондов температуры.

По мере развития промышленного производства сеть «термических разрезов» будет оснащена оптимальным количеством автоматических океано-

графических буйковых станций. Она может стать базой системы ОГСООС и служить средством для изучения не только сезонной и междугодовой изменчивости физических процессов в толще океана, но и источником повседневной оперативной информации для океанографической службы прогнозов.

Для изучения крупномасштабной изменчивости океанологических полей в поверхностном слое океана, конечно, остаются незаменимыми наблюдения на судовых гидрометеорологических станциях и «судах погоды». Настоятельной необходимостью становится быстрейшая организация на всех «судах погоды» глубоководных океанографических наблюдений за основными гидрологическими характеристиками (течения, температура, соленость).

Существующая сеть береговых и островных гидрометеорологических станций в Мировом океане достаточно полно обеспечивает накопление результатов наблюдений основных элементов (уровень, температура воды, ледовые явления), необходимых для изучения климатических колебаний в океане. Известное исключение представляют районы тропической зоны океана и акватория Южного океана, где количество морских гидрометеорологических станций явно недостаточно. В условиях быстро развивающегося научно-технического прогресса и необходимости более целесообразного использования окружающей человека природной среды крайне важно задуматься над вопросами наиболее эффективной организации океанографических исследований.



Доктор физико-математических наук
Р. В. ОЗМИДОВ

Турбулентность в океане

С явлением турбулентности каждый из нас хорошо знаком. Воздушный океан, на дне которого мы живем, почти всегда находится в турбулентном движении. Внешне это проявляется в непостоянстве скорости и направления ветра, ощущаемом нами как его порывистость. Если же измерять ветер каким-либо чувствительным прибором, то окажется, что записи скорости и направления ветра будут иметь неправильную, хаотическую форму, с отдельными выбросами и спадами, или, как принято говорить, флуктуациями. Такие флуктуации типичны и для движений воды в быстрых реках, каналах и других искусственных сооружениях. Однако при движениях небольших объемов жидкости или газа с малыми скоростями флуктуации могут исчезать — записи скорости и направления потока в каждой его точке будут выглядеть тогда либо как прямые линии, либо как плавные и закономерно меняющиеся кривые. В этом случае говорят, что течение имеет ламинарный характер.

Переход от ламинарного к турбулентному движению осуществляется либо при увеличении скорости движения потока, либо при увеличении его размеров. Так, в водопроводной трубе определенного сечения движение воды может быть и турбулентным и ламинарным в зависимости от скорости жидкости или, соответственно, от разного расхода воды через трубу. Если же скорость течения фиксирована, то поток будет ламинарным в трубке малого диаметра (например, в капиллярном кровеносном сосуде) и турбулентным — в трубе большего поперечного сечения. Пе-

Водные просторы нашей планеты оказались бы безжизненной пустыней, если бы вдруг прекратили свое существование турбулентные вихри в океане.

реход ламинарного течения в турбулентное затрудняется еще и вязкостью жидкости. Более вязкие жидкости (нефть, патока) сохраняют ламинарный характер движения при больших скоростях и размерах потока, чем вода и другие маловязкие вещества.

Еще в конце XIX века О. Рейнольдсом было установлено, что переход ламинарного типа течения в турбулентное и обратно осуществляется при определенных критических значениях некоторой безразмерной величины. Эта величина — впоследствии ее назвали числом Рейнольдса — выражается отношением произведения скорости потока V на его характерный размер L к вязкости жидкости ν :

$$\left(Re = \frac{VL}{\nu} \right).$$

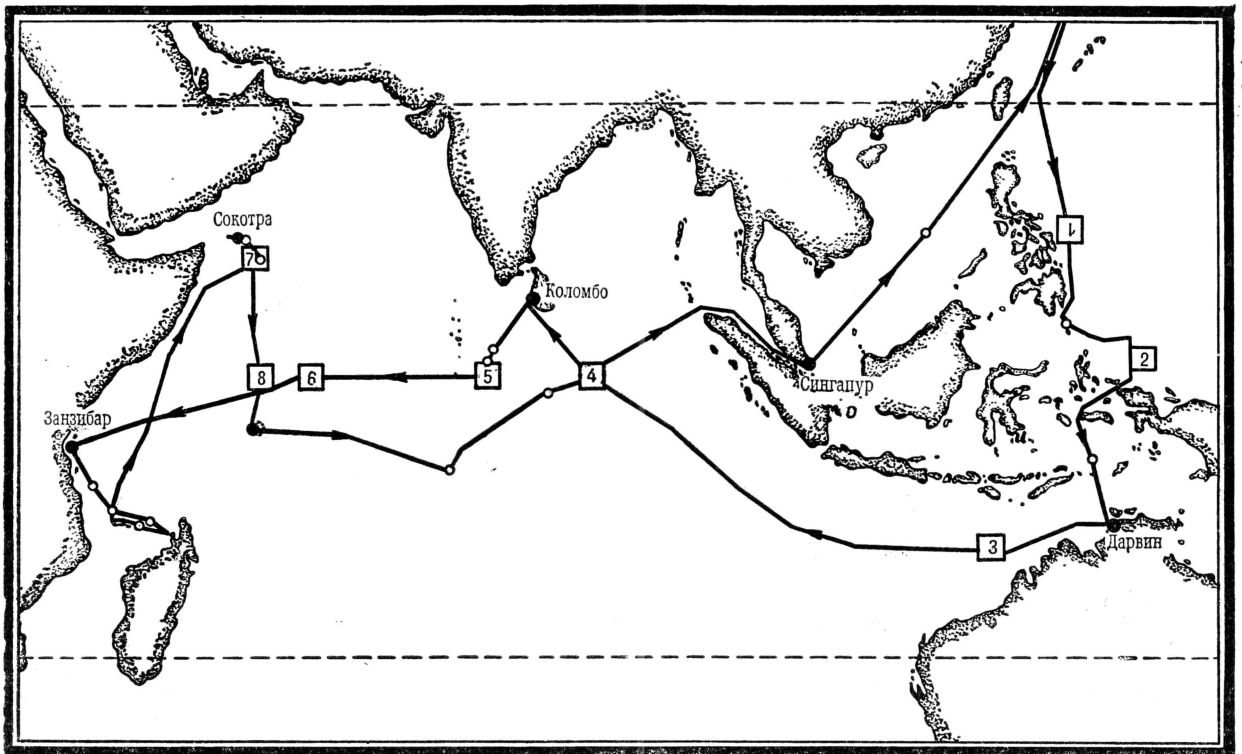
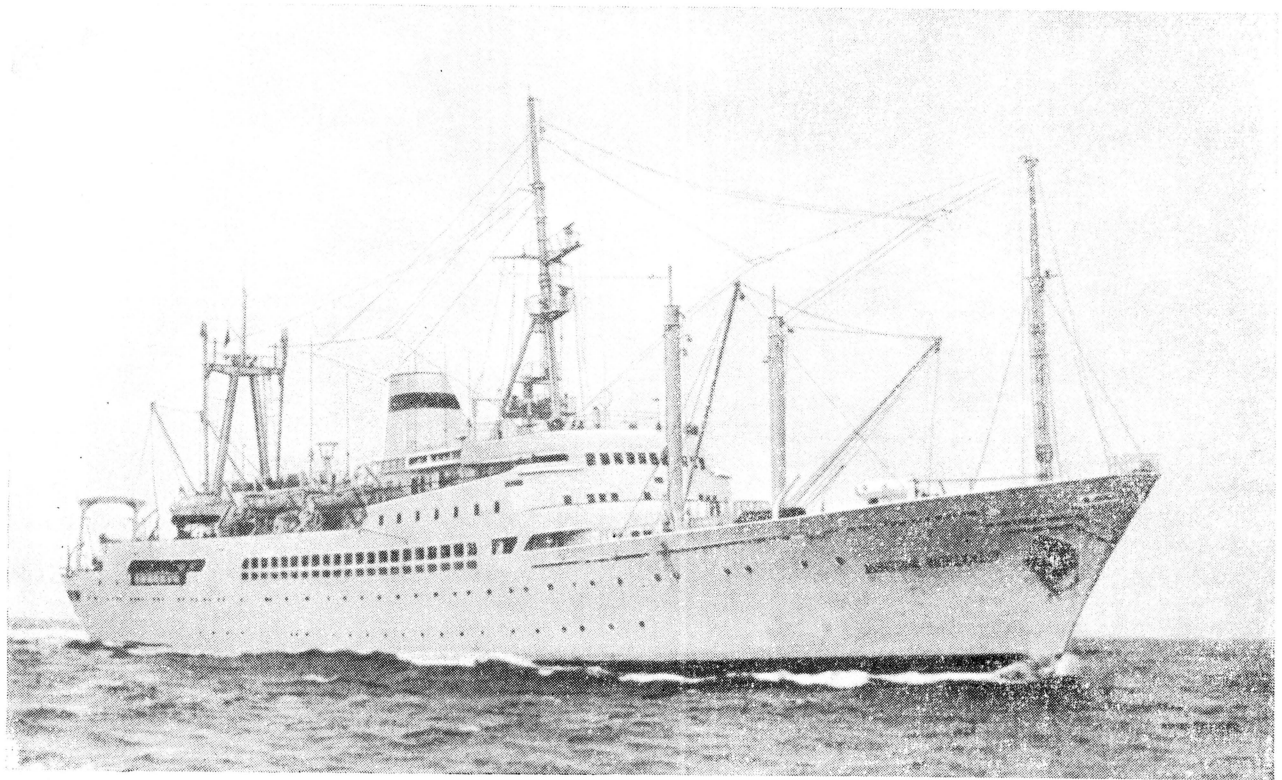
КАКОЙ ТИП ДВИЖЕНИЯ ПРЕОБЛАДАЕТ В ОКЕАНЕ?

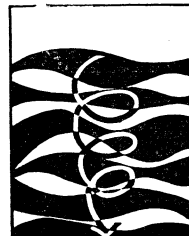
Если при подсчете числа Рейнольдса для океана взять среднюю типичную скорость морских течений, близкую к 10 см/сек, а в качестве L принять протяженность всего океана или моря, то для Re получатся громадные числа, свидетельствующие о безусловно турбулентном характере движений воды в океане. Непосредственные наблюдения за движением вод в

поверхностном слое в большинстве случаев (особенно во время сильного волнения) как будто подтверждают это. Но и в океане бывает полное безветрие, когда водная поверхность зеркальна, нет даже мелкой ряби, и скорости течений невелики. Если в такие моменты выпустить на поверхность океана какую-либо краску, то можно увидеть, как медленно разрастается пятно подкрашенной воды — в жидкости явно отсутствуют флуктуации скорости и, следовательно, нет вихрей, которые «растаскивали» бы пятно. Таким образом, даже и в верхнем слое океана движение воды может быть близко к ламинарному.

А всегда ли турбулентно движение вод в глубинных слоях океана? Как увязать возможность существования ламинарного режима в океане с оцененными выше большими значениями числа Re ? Очевидно, при его подсчете была допущена неточность. Оказывается, за характерное значение L следует принимать масштаб процесса, который приводит в движение и снабжает энергией рассматриваемый поток. В трубах, а также в открытых каналах или реках движение жидкости вызывают либо сила тяжести, либо перепады давления, действующие в масштабе всего потока. Поэтому здесь величина L как раз и совпадает с шириной канала или диаметром трубы.

В океане все гораздо сложнее. Движение его вод вызывается совокупностью разных сил. Здесь — и непосредственное действие ветра на водную поверхность, и приливные силы, и неравномерное нагревание океана в различных широтах в разное время года и суток. Так, если над поверх-





ностью океана дует местный ветер (например, береговой бриз), то величина L будет означать не протяженность всего океана, а характерный размер полосы, охваченной ветром. Можно привести примеры и еще меньших значений L для движения в океане. Если в ясный день Солнце экранируется небольшим облачком размера l , то в зоне его тени будет происходить не столь сильное прогревание воды. Это приведет к горизонтальным перепадам температуры, способным вызвать циркуляцию вод характерного размера l . Если же на поверхности океана есть ветровые волны или зыбь, то масштаб движений будет определяться, например, длиной волны, которая может иметь размеры порядка десятков метров.

Теперь становится ясным, что характер движения вод в океане может быть разным в зависимости от сочетания большого числа факторов. Особенно сложно заранее решить, каким будет движение вод в глубинных слоях, где кроме течений существуют внутренние волны, представляющие собой колебания поверхностей раздела слоев жидкости с разной плотностью. А так как плотность

вод океана всегда изменчива по глубине, причем перепады плотности от слоя к слою и от места к месту бывают очень резкими, то внутренние волны могут быть самых различных амплитуд и частот. В то же время внутренние волны служат одним из важных механизмов передачи энергии движениям меньшего масштаба, поэтому при оценке числа Рейнольдса для таких движений могут получаться самые различные, в том числе и небольшие значения Re . В связи с этим даже вопрос о пространственности ламинарного или турбулентного режима движения вод во всей толще океана требует специального исследования.

ДЛЯ ЧЕГО И КАК ИЗУЧАЮТ ОКЕАНИЧЕСКУЮ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ?

Оказывается, без знания закономерностей океанической турбулентности невозможно правильно понять важнейшие процессы в океане, следовательно, невозможно и прогнозировать их, а в конечном счете, и управлять ими.

Океан, как известно, служит мощным аккумулятором солнечного тепла, благодаря чему климат на нашей планете не столь суров и пригоден для существования многообразных форм жизни. А если бы движения вод океана были только ламинарными, то прогреться мог бы лишь очень тонкий слой воды, так как процесс «усвоения» тепла связан в значительной степени с вихревыми турбулентными движениями, интенсивно перемешивающими водные массы. В результате такого перемешивания в средних широтах, например, за лето успевает прогреться слой воды в не-

сколько десятков метров, теплозапас которого уже достаточен, чтобы «подогревать» воздух над океаном в течение долгих зимних месяцев.

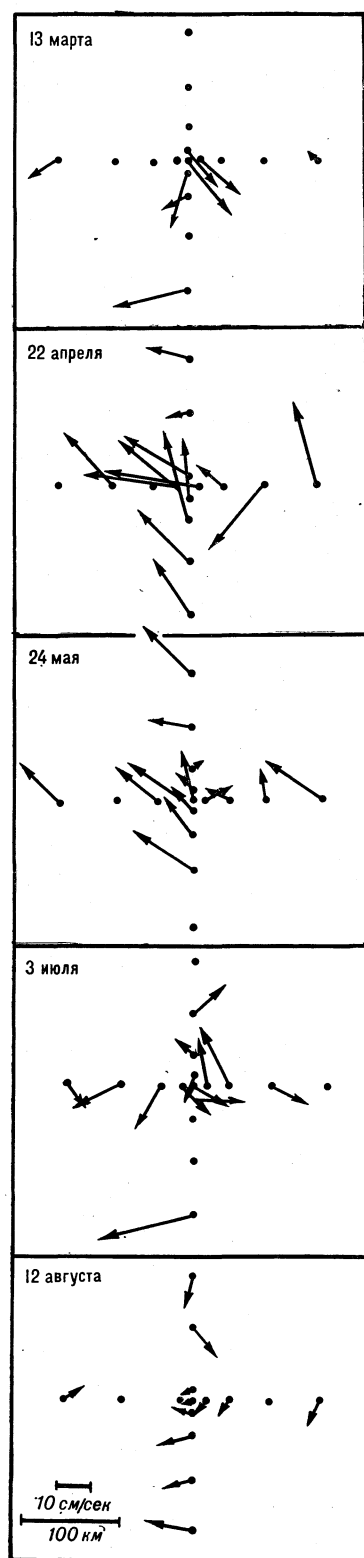
Столь же важен процесс турбулентного перемешивания и для переноса с поверхности в глубокие слои кислорода, необходимого для поддержания жизни в океане. Одновременно из глубинных слоев благодаря турбулентному перемешиванию поступают питательные соли, содержащие азот, фосфор, калий и другие вещества, необходимые для растительных организмов (водорослей, фитопланктона) в верхнем, освещаемом Солнцем слое океана. Турбулентность помогает океану «перерабатывать» и определенные количества посторонних веществ, поступающих сюда, например, из прибрежных городов и с заводов. Турбулентные вихри могут достаточно быстро «растачить» пятно посторонней примеси, снизив ее концентрацию до безопасного уровня. Однако количество успешно «перерабатываемой» океаном примеси, размер или время существования зоны с повышенной концентрацией постороннего вещества могут быть точно рассчитаны лишь при хорошем знании закономерностей океанической турбулентности. Такие знания совершенно необходимы при конструировании очистных сооружений в прибрежных городах и на заводах, где полностью избавиться от сбросов сточных вод или невозможно, или очень трудно.

ИЗУЧЕНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ОКЕАНА — СЛОЖНАЯ ЗАДАЧА

Действительно, турбулентные вихри, как мы уже заметили, очень не-

■
Научно-исследовательское судно «Дмитрий Менделеев» Института океанологии имени П. П. Ширшова АН СССР

■
Маршрут экспедиции на «Дмитрий Менделеев» в Тихом и Индийском океанах. Зачерненные кружки — порты, куда заходило судно во время рейса. В квадратиках — номера полигонов, светлые кружки — гидрологические станции



постоянны — они возникают, затухают и появляются вновь. Размеры их также очень различны. В океане наряду с мельчайшими вихорьками в несколько миллиметров могут образоваться огромные турбулентные вихри диаметром в десятки километров, медленно вращающиеся и передвигающиеся в определенном направлении. Такие вихри живут достаточно долго, иногда в течение одного или двух месяцев, в то время как мелкие вихорьки рождаются и умирают в считанные минуты или даже секунды.

Для исследования всей иерархии, или, как принято говорить, спектра турбулентных вихрей, необходим набор методов и приборов с разной чувствительностью и длительностью работы. При измерениях крупномасштабных турбулентных вихрей можно использовать сравнительно грубые приборы типа измерителей течений — вертушки с механическими крылатками, вращающимися с разной частотой в зависимости от скорости набегающего на них потока. Несколько вертушек обычно прикрепляют к тросу и опускают на различные глубины. Наверху трос крепят к большому поплавку-буй, а к концу троса привязывают массивный груз, опускаемый на дно океана. Такое устройство — буйковая станция — способно длительное время удерживаться в одной точке. Вертушки на буйковой

■ Крупномасштабные вихревые движения в океане, зафиксированные сетью буйковых станций (точки на рисунке) в центральной части Атлантического океана (в приведенном на рисунке масштабе). Стрелки показывают скорости и направления течений на глубине 25 м

станции каждые 5—30 минут печатают на длинные бумажные ленты значения скорости и направления движений воды на разных глубинах. На полученных записях обычно хорошо видна пульсационная (турбулентная) структура потока: скорости и направления течения меняются беспорядочно, они разбросаны около некоторых постоянных или закономерно и плавно меняющихся средних значений.

Ленты с записями о движениях вод океана затем обрабатываются статистическими методами. Дело в том, что давать сведения о каждой отдельной флуктуации скорости или о каждом отдельном (особенно небольшом) вихре в океане весьма сложно, да часто и не нужно. Вполне достаточно иметь некоторые обобщенные данные, например сведения о средних размерах вихрей, средних скоростях их движения, времени жизни, а также о возможных вариациях этих параметров. Таких сведений оказывается вполне достаточно для расчета скорости переноса вихрями тепла, соли и других веществ. Но и подобного рода расчеты весьма трудоемки и требуют для своего осуществления электронных вычислительных машин, которыми обычно и оснащаются наши новые научно-исследовательские суда.

Для измерения самых мелких турбулентных вихорьков морские вертушки оказываются слишком грубыми. Поэтому для таких измерений были сконструированы специальные приборы с чувствительными элементами — миниатюрными проволочками или пленками, подогреваемыми электрическим током. Набегающий на проволочку водный поток охлаждает



ее тем сильнее, чем больше скорость потока. А от температуры проводочки зависит ее электрическое сопротивление, вариации которого уже могут быть усилены и очень точно зарегистрированы при помощи электронной схемы, например, на магнитофонную ленту. Информация с такой ленты вводится в вычислительную машину, которая рассчитывает интересующие исследователя **параметры** высокочастотных турбулентных пульсаций. Подобного рода чувствительными приборами (турбулиметрами) можно измерять не только пульсации скорости течения, но и турбулентные вариации температуры воды или ее электропроводности.

Другой метод изучения турбулентности в океане состоит в наблюдении за распространением специально вносимых примесей. Обычно в качестве примеси используют безвредные для морских обитателей флуоресцирующие красители, очень малые концентрации которых можно зарегистрировать оптическими приборами. Краситель вносят в определенной точке в фиксированный момент времени (мгновенный точечный источник примеси) или выпускают непрерывно длительное время, например, из шланга (непрерывный точечный источник). В первом случае в море образуется окрашенное пятно, которое увеличивается благодаря турбулентным вихрям и в то же время увлекается течением в каком-либо направлении. Во втором случае от точки испускания красителя вдоль по течению вытягивается окрашенная струя, ширина которой увеличивается с удалением от источника. По распределению концентрации красителя в пят-

нах и струях можно судить об интенсивности турбулентности, о «транспортных способностях» турбулентных вихрей, а также о зависимости характеристик турбулентности от условий погоды, волнения, плотностной структуры вод и других факторов.

Измерения турбулентных пульсаций скорости течений, температуры, электропроводности, а также опыты с красителями обычно осуществляют специальные экспедиции в различных районах Мирового океана. Это дает возможность проследить изменчивость характеристик турбулентности от района к району, при разных условиях погоды, разных интенсивностях прогрева океана Солнцем и так далее. Так, в одном из недавних рейсов по исследованию океанической турбулентности маршрут научно-исследовательского судна «Дмитрий Менделеев» пролегал через несколько районов Тихого и Индийского океанов. Большая часть измерений была проведена в районе экватора, где существуют очень сильные течения, направленные на разных глубинах в противоположные стороны. В то же время интенсивный прогрев вод в экваториальной зоне часто приводит к возникновению очень резкой границы между теплой легкой водой поверхностного слоя и более холодной и тяжелой водой глубинных слоев. Исследовать закономерности турбулентности в условиях таких резких вертикальных перепадов (градиентов) скорости и плотности весьма интересно, так как эти градиенты в конечном итоге определяют интенсивность турбулентности и другие ее характеристики.

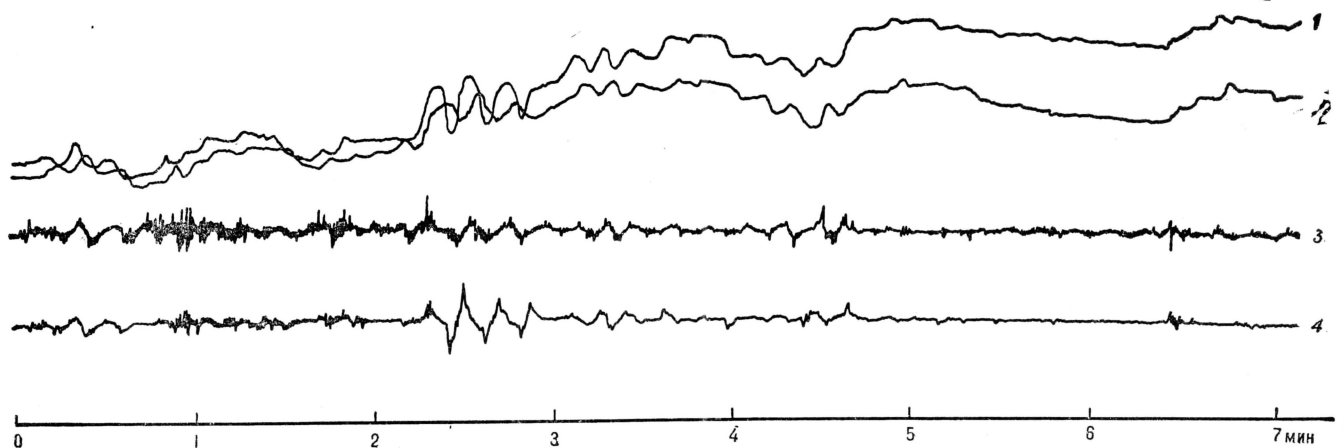
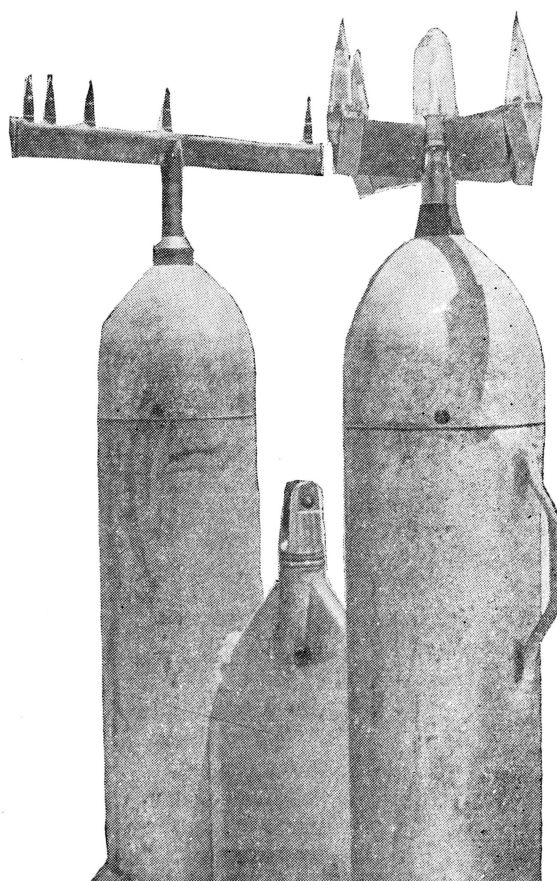
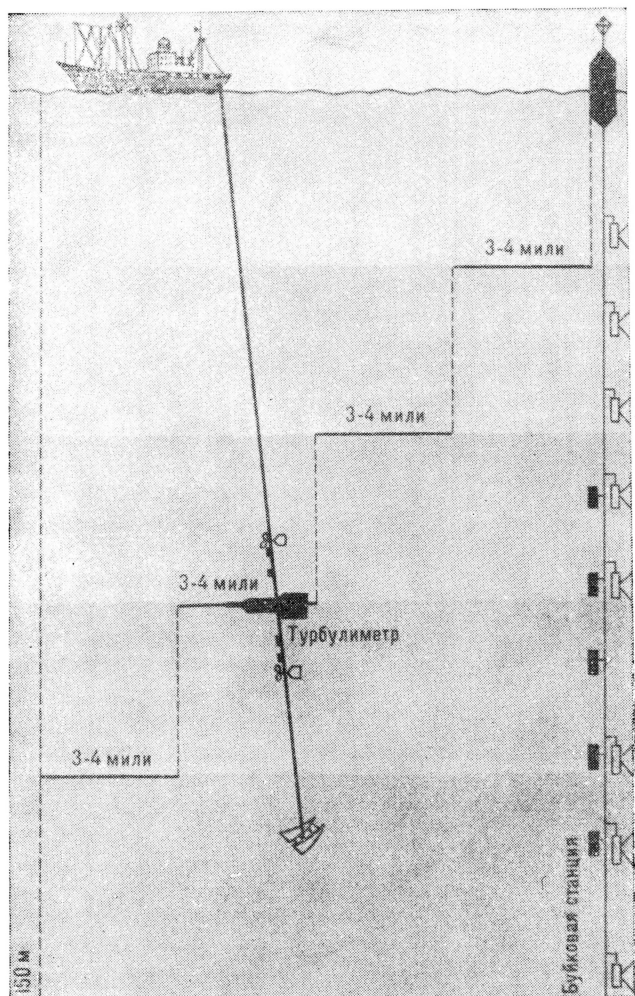
Мелкомасштабные турбулентные

флуктуации в рейсе «Дмитрия Менделеева» измерялись турбулиметрами, которые буксировались за судном в обтекаемых гондолах-катамаранах. Использовали и метод зондирования толщи океана турбулиметрами с дрейфующего корабля. Буксировка измерителей турбулентности производилась при разной длине буксирной линии, что позволяло исследовать зависимость характеристик турбулентности от глубины. Расстояние, на котором катамаран с турбулиметрами буксируется на данной глубине, может быть различным, но, как правило, оно выбирается равным нескольким милям.

Комплекс измерений с помощью буйковых станций, буксируемых и зондирующих устройств обычно осуществляется в специально выбранных районах океана — полигонах, отличающихся характерным распределением плотности морской воды, скорости течения, типичными условиями погоды. «Дмитрий Менделеев» работал на восьми полигонах в тропической зоне Тихого и Индийского океанов. На гидрологических станциях между полигонами проводились более кратковременные и не столь комплексные измерения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Что же мы знаем сейчас об океанической турбулентности? Прежде всего, удалось показать, что характеристики турбулентности в океане очень изменчивы. В отдельных слоях океана турбулентность может быть полностью развитой, ее интенсивность достаточно велика. В других же слоях



турбулентность угнетена, режим движения вод здесь близок к ламинарному, способность к перемешиванию мала. А иногда встречаются прослойки воды и с полным отсутствием тур-

■

Схема измерения турбулентности в режиме буксирования. Катамаран располагается на буксирной линии, где также крепятся дополнительные измерители температуры и облезающие вертушки для измерения крупномасштабных флуктуаций скорости. В непосредственной близости — буйковая станция с вертушками (светлые значки) и регистраторы температуры (черные значки). Турбулиметр буксируется на данной глубине 3—4 мили (горизонтальные отрезки на рисунке), затем его опускают на большую глубину. Такая операция повторяется многократно, пока не будет исследован весь поверхностный слой океана на полигоне

■

Измерители турбулентности, установленные на катамаране. Чувствительные элементы измерителей располагаются на заостренных пиках в верхней части прибора.

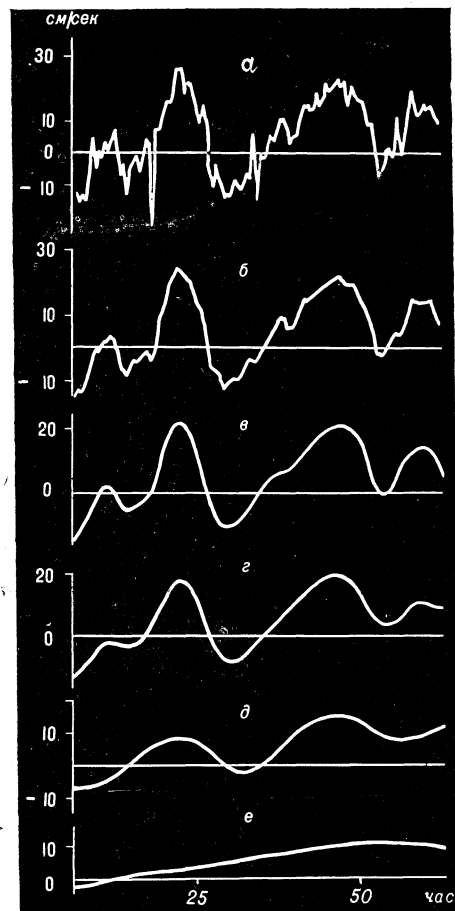
■

Пример записи пульсаций температуры турбулиметром с двумя чувствительными элементами, находящимися друг от друга на расстоянии 70 см. Кривые 1 и 2 сглажены, а из кривых 3 и 4, наоборот, исключены медленные вариации температуры. Графики наглядно показывают, что интенсивность турбулентных пульсаций непостоянна — она то увеличивается, то уменьшается, причем такие изменения происходят несинхронно даже на небольшом расстоянии. Кривые 1 и 3 получены с одного чувствительного элемента, а кривые 2 и 4 — с другого

булентности, с ламинарно движущейся жидкостью. Правда, время жизни таких прослоек не столь велико — они могут разрушаться и переходить к турбулентному режиму благодаря, например, действию внутренних волн, которые способны, подобно поверхностным волнам, опрокидываться и порождать турбулизированный «бурну» жидкости.

Наблюдениями установлено, что на интенсивность турбулентности определяющее влияние оказывают вертикальные градиенты плотности воды. Если плотность резко увеличивается с глубиной, то слои жидкости оказываются очень устойчивыми, их трудно вывести из положения равновесия и поэтому развитие здесь турбулентных вихрей крайне затруднено. Если же жидкость практически однородна по вертикали или ее плотность уменьшается с глубиной (что иногда бывает в океане), то турбулентность здесь развивается легче и ее интенсивность возрастает. Градиенты же плотности воды возникают, в свою очередь, от многих причин: от нагрева океана Солнцем, от испарения воды с поверхности океана, от существующих течений, приносящих в разные слои океана воду разной плотности, от действия поверхностных и внутренних волн и так далее. Все эти факторы создают как общий, «генеральный» ход плотности воды с глубиной, так и более тонкие особенности («ступеньки») на вертикальных профилях плотности в океане. А с ходом этих профилей согласуются и распределения интенсивности турбулентности по глубине.

Существенное влияние на интенсивность турбулентности оказывает и



распределение скоростей течений. Там, где векторы скоростей течений изменяются резко, легче могут воз-

■

Пример изменчивости скорости течения в океане по данным морской вертушки, работавшей на буйковой станции около четырех суток. На первой кривой (а), представляющей изменение скорости течения со временем, хорошо видны среднемасштабные турбулентные пульсации скорости. Последующие кривые (б, в) получены путем исключения из первой кривой все более и более крупномасштабных пульсаций. На кривых «г» и «д» турбулентные пульсации уже отсутствуют и хорошо видны приливные колебания скорости, а на кривой «е» осталось лишь постепенное изменение скорости со временем

Кандидат геолого-минералогических наук
А. М. ГОРОДНИЦКИЙ
Кандидат физико-математических наук
Г. А. ФОНАРЕВ

Электрическое поле океана

никать зоны повышенной турбулентности и интенсивного перемешивания. Зависят, конечно, характеристики турбулентности в верхнем слое океана и от условий погоды. В шторм, когда на поверхности океана развиваются большие волны, турбулентность получает дополнительные порции энергии, ее интенсивность резко увеличивается, что приводит обычно к быстрому перемешиванию верхнего слоя океана. Толщина такого перемешанного слоя зависит от силы и продолжительности шторма.

Измерениями в океане обнаружена также определенная зависимость интенсивности турбулентных вихрей от их масштаба. Как правило, интенсивность возрастает с увеличением размеров вихрей, причем часто такая зависимость подчиняется законам, полученным теоретически. Очевидно, знание подобного рода законов позволяет не только качественно, но и количественно описывать процессы турбулентного перемешивания как естественных субстанций (тепла, кислорода, количества движения, различного рода солей), так и искусственно вносимых в океан примесей (загрязнений или, наоборот, полезных удобрений, повышающих продуктивность океана).

Исследование океанической турбулентности, по существу, лишь только началось. Ясно, что предстоят еще исследования турбулентности разных масштабов, в различных районах океана, при различных гидрометеорологических условиях. Результаты таких работ позволят более целенаправленно и рационально использовать на благо человека богатейшие ресурсы Мирового океана.

Единого электрического поля океана, аналогичного главному магнитному полю Земли, не существует. Электрическое поле океана представляет собой совокупность полей различных источников. В этом заключается одна из основных трудностей его изучения.

ЭФФЕКТ ФАРАДЕЯ

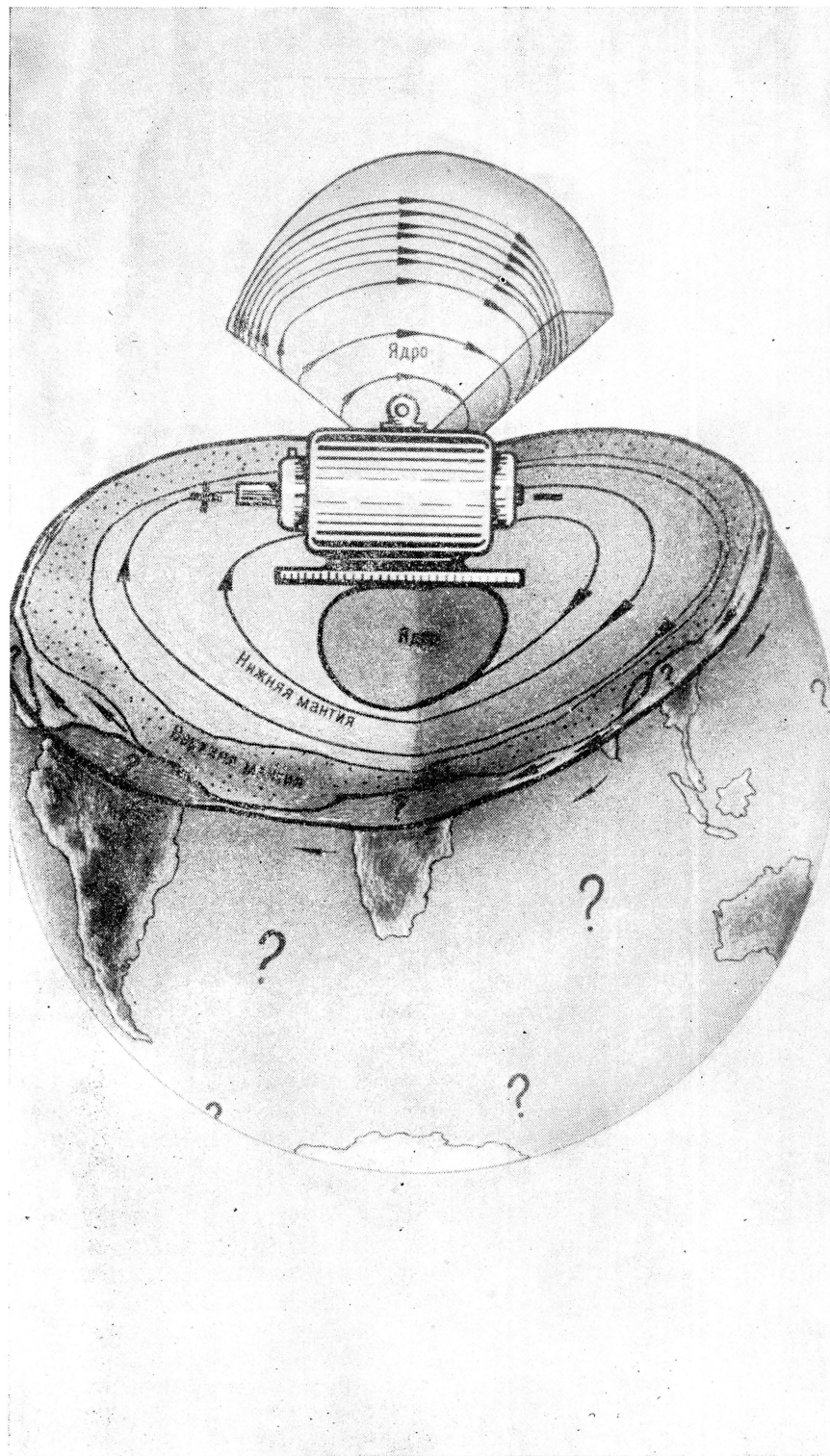
Пионером изучения электрического поля в океане был великий Фарадей. Его знаменитые опыты в лаборатории завершились открытием электромагнитной индукции. Фарадей предположил, что индукционные эффекты могут наблюдаться в природе в масштабах земного шара. Читая лекцию «Земная магнитоэлектрическая индукция» на заседании Королевского общества в 1832 году, он рассуждал: «Если мысленно провести прямую, проходящую из Дувра в Кале через море и возвращающуюся в Дувр по морскому дну, то она вычертит замкнутую цепь проводящих веществ, одна часть которой при движении воды вверх или вниз по проливу пересекает магнитные кривые Земли, тогда как другая находится относительно в покое. Это есть повторение опыта с движущимся проводом, но с худшими проводниками».

Таким образом, Фарадей был твердо убежден, что при движении морской воды в магнитном поле Земли возникает сложная система электрических токов, зависящая от структуры морских течений. Ученый пытался сам измерить электрический ток в реке Темзе, опуская электроды с моста Ва-

терлоо. Однако все его попытки оказались безуспешными из-за несовершенства измерительной аппаратуры. Тем не менее Фарадей при жизни еще застал сообщение об удачных измерениях электрических полей приливных течений в Английском канале, выполненных в 1851 году С. Волластоном. С той поры наблюдения электрических эффектов течений проводились неоднократно в различных странах главным образом океанографами.

Как оценить величину эффекта Фарадея? Представим течение в виде широкого направленного потока, причем ширина потока значительно превосходит глубину моря—это простейшая, но довольно распространенная модель. Удельное электрическое сопротивление дна много больше сопротивления морской воды. Скорость течения может меняться с глубиной по произвольному закону. В этом случае электрическое поле можно представить как произведение средней по глубине скорости течения на вертикальную составляющую магнитного поля Земли. Тогда поверхностное течение в океане будет иметь ничтожные электрические поля, наибольшие же окажутся в том случае, когда течение увлекает всю массу воды от поверхности до дна.

Представим более сложную модель. Пусть скорость поперек течения распределена произвольно. В этом случае разность потенциалов по обе стороны течения пропорциональна «расходу», то есть объему воды, переносимому течением через сечение в единицу времени. При средней скорости течения 10 см/сек и вертикальной составляющей магнитного по-



ля Земли 0,55 э электрическое поле будет 5,6 мв/км.

Измерения электрических полей течений, а также волн дают в руки исследователей удобные методы наблюдений «расхода» воды в проливах, определения гармонических постоянных приливных течений, параметров морского волнения.

ТЕЛЛУРИЧЕСКИЕ ПОЛЯ

Термин «теллурический» произошел от латинского слова *Tellus*, что в переводе на русский язык означает «Земля». Если электрические поля течений и волн сугубо «морские», то теллурические — и морские и сухопутные. Здесь мы имеем дело с другим видом индукции. В первом случае проводник движется в магнитном поле, во втором же проводник (морская вода) неподвижен, а меняется во времени магнитное поле. При изменении магнитного поля в проводящем замкнутом контуре возникает электрический ток. Известно, что магнитное поле Земли тоже меняется. Эти изменения, или вариации, индуцируют в океане теллурические токи. Первым начал изучать теллурические поля наш соотечественник, сотрудник Морского гидрофизического института А. Т. Миронов. Исследуя поведение морских рыб в воде, А. Т. Миронов обнаружил (1935 год) у них хорошо выраженный электротаксис — способность реагировать на электрическое поле в морской воде.

А что если в морях и океанах окажутся электрические поля, которые определяют массовую миграцию рыб? — такой вопрос, естественно, встал перед ученым. На пути к его

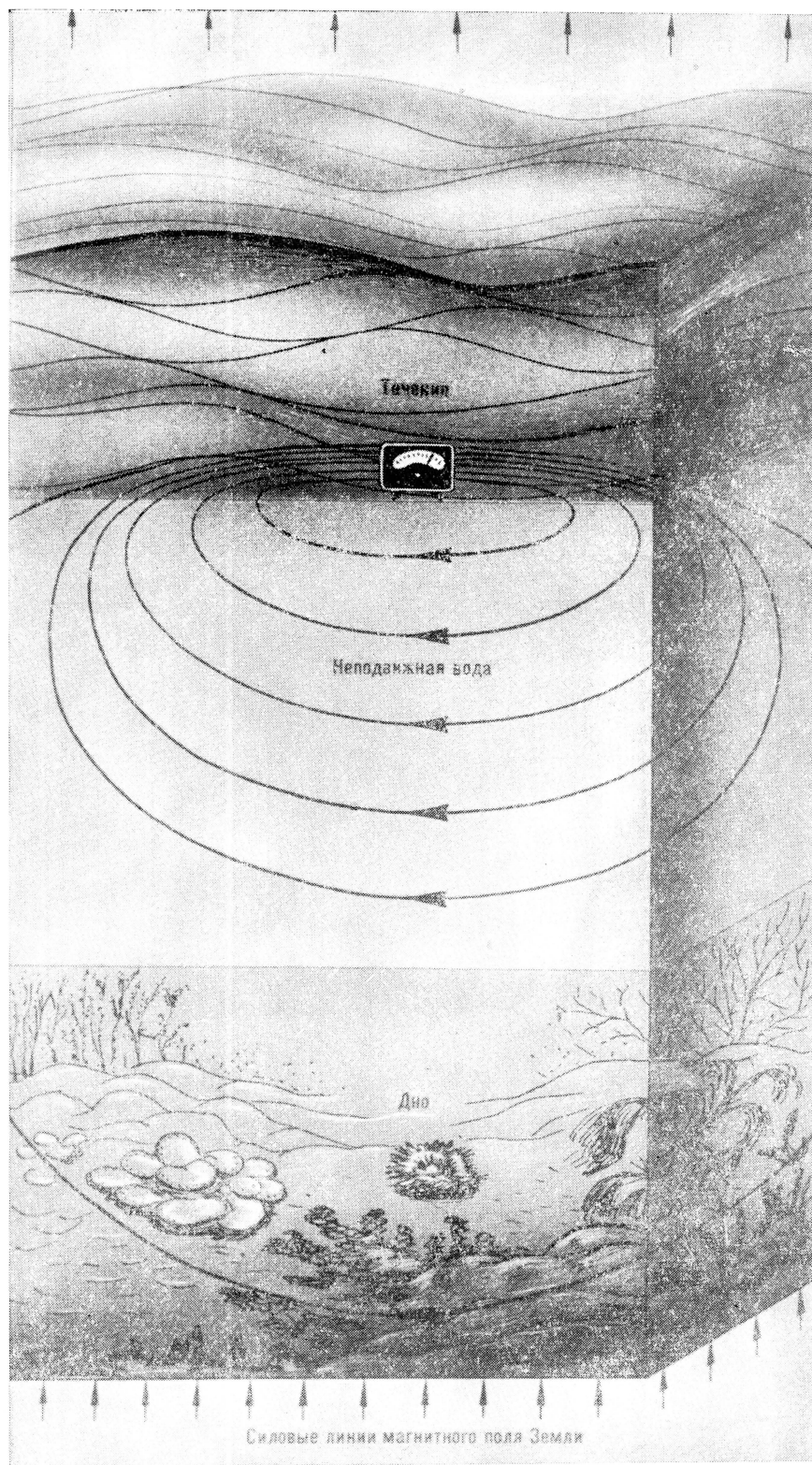
решению А. Т. Мионову пришлось преодолеть бытовавшее многие годы среди геофизиков мнение, что в морской воде — этом относительно хорошем проводнике — не могут возникать разности потенциалов, достаточные для их регистрации существующей аппаратурой.

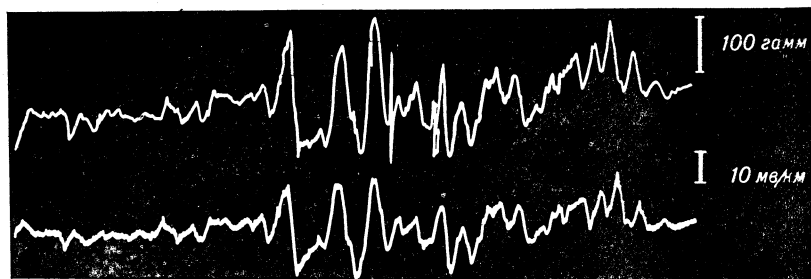
Измерения, проведенные Мионовым в заливах Мурманского побережья и на Черном море, позволили ему дать первое описание теллурических полей в море. Была также установлена связь теллурических полей с вариациями магнитного поля Земли. Оказалось, что плотность морских теллурических токов в десятки и сотни раз больше теллурических токов, измеренных на суше. После работ Мионова изучение морских теллурических токов получило серьезное экспериментальное обоснование. Они были продолжены академиком В. В. Шулейкиным и его учениками.

Теллурические токи надежно регистрировались в Северном Ледовитом океане с дрейфующих льдов. Было установлено, что теллурические поля имеют такие же, как и у геомагнитных вариаций, временные зависимости. В их колебаниях установлен 11-летний цикл, они обладают таким же суточным ходом возмущенности, у них те же типы вариаций. Наибольшей величины теллурические токи дости-

■

Распределение электрических токов в простейшей модели морского течения (прямоугольный канал). Линии тока замыкаются через неподвижную воду и проводящее дно





гают во время магнитных бурь. Их амплитуды, как правило, десятки милливольт на километр, в некоторых случаях сотни, а иногда даже тысячи милливольт на километр.

Оказалось, что теллурические поля тельно больше по величине, чем на мелководье и у берегов значительных участках океана. Чем глубже, тем меньше амплитуды токов, то есть можно сказать, что теллурические поля обладают скин-эффектом. Сейчас и теоретически, и экспериментально теллурические поля изучены довольно хорошо. Настало время для ответа на вопрос, поставленный Мироновым в 1935 году, а именно: как влияют морские теллурические поля на поведение рыб? Не исключено, что практическое решение этой задачи поможет морскому рыболовству.

ПОСТОЯННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Теллурические поля — это переменные индукционные поля с различными амплитудами и периодами. Возможна ли у них постоянная составляющая глобального масштаба? К сожалению, вопрос о постоянной составляющей, создаваемой токами проводимости, остается неясным до сегодняшнего дня. Известный советский геоэлектрик А. П. Краев в начале 50-х годов писал, что постоянную составляющую чрезвычайно трудно выделить на фоне помех и локальных электрических полей. Ученый не был уверен в реальности этой составляющей. Он предложил для ее обнаружения использовать сверхдлинные линии с электродами на концах. Помехи, которых очень много на суше, существенно уменьшаются в океане.

Поэтому с дрейфующей станции «Северный полюс-10» удалось в 1962—1963 годах провести наблюдения постоянной составляющей теллурического поля с погрешностью измерений в один милливольт на километр. В пределах погрешности измерений обнаружить постоянную составляющую не удалось. К такому же результату приводят исследователей многочисленные данные, полученные при работе с электромагнитным измерителем течений. Этот океанографический прибор измеряет электрические токи в морской воде, стало быть, постоянная составляющая теллурических токов должна вносить систематическую погрешность в определение скорости течений этим прибором. Однако в действительности такого не наблюдалось. Логично задать вопрос: может ли существовать постоянная составляющая ниже предела 1 мв/км? По мнению весьма авторитетных американских и английских исследователей, — может.

Каждый знает, что Земля — большой магнит. Магнитное поле Земли наносят на карты, которые используются в навигации, в разведке полезных ископаемых, в изучении строения земной коры и так далее. Можно предположить, что где-то около границы мантия — земное ядро располо-

Совместная двухчасовая запись вариаций магнитного и теллурического полей в Северном Ледовитом океане, полученная на дрейфующей станции «Северный полюс-10». Верхняя кривая — вариации магнитного поля Земли вдоль меридиана. Нижняя кривая — колебания электрического поля вдоль широты. Нетрудно видеть, как похожи эти записи

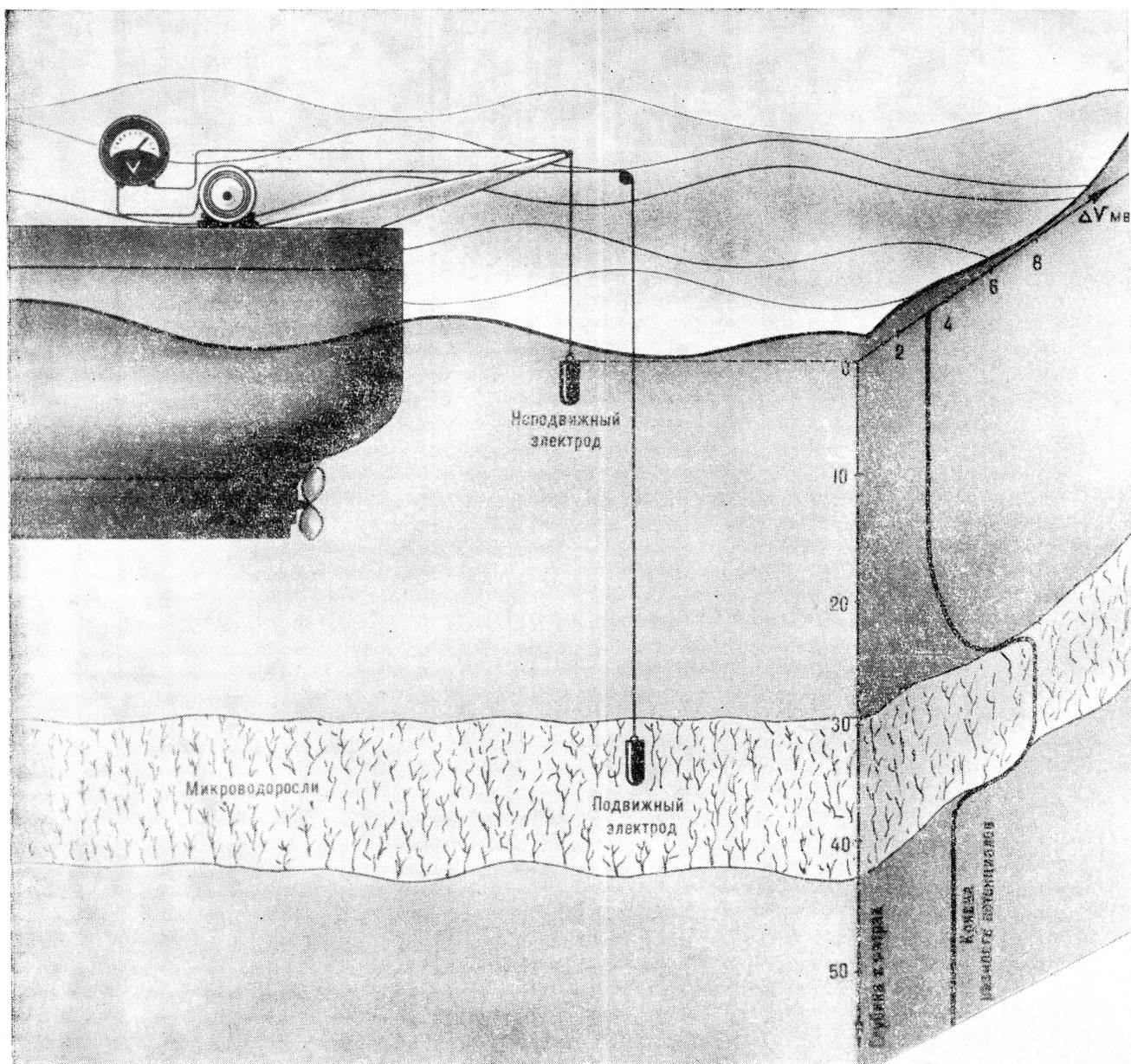
жена своеобразная «динамо-машина». Электрический ток, который она вырабатывает, и создает магнитное поле Земли. Расчеты показали, что этот ток, просачиваясь через мантию и земную кору, может достигать поверхности Земли и создавать слабые электрические поля порядка 0,1—1,0 мв/км. Как их измерить?

Обнаружение таких слабых полей имел бы большое научное значение для исследования внутреннего строения нашей планеты. Это было бы прикосновением к таинственным токам, которые участвуют в создании удивительного явления — земного магнетизма. Первые шаги в этом направлении уже сделаны.

Американский ученый С. К. Ранкорн в 1963 году провел интересный эксперимент. Этот эксперимент оказался воплощением идеи А. П. Краева в «морском» варианте. Для наблюдений Ранкорн приспособил телеграфные линии в Тихом океане между Австралией, Новой Зеландией и островами Фиджи. На весьма ограниченном материале С. К. Ранкорн обнаружил, что в пределах нескольких милливольт на километр постоянная составляющая теллурических токов отсутствует. Фактически эксперимент окончился неудачей: электрические поля течений и вариаций теллурических токов создали сильный фон помех. Таким образом, вопрос о существовании постоянной составляющей теллурических токов остается открытым.

ДИФфуЗИОННЫЕ ПОЛЯ

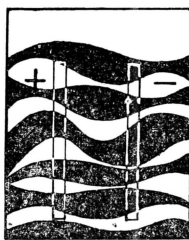
Как известно, различие солёности между отдельными слоями водной толщи океана приводит к диффузии,



■ *Биоэлектрический эффект. При измерении потенциала электрического поля в океане получают плавную запись начальной разности потенциалов между электродами (верхняя часть кривой на рисунке). Если же электрод попадает в слой с высокой концентрацией микроводорослей, то наблюдается резкий скачок в записи (средняя часть кривой)*

то есть к направленному движению ионных потоков. В результате диффузии ионов между слоями с различной концентрацией солей в морской воде возбуждаются локальные токи. Величина потенциала этого естественного электрического поля была определена В. Нернстом. Если соленость двух сопредельных водных масс соответ-

ствует значениям 35,0 и 36,5 г на литр воды, то разность потенциалов между ними составит 2 мв. При измерениях вертикального градиента потенциала в Атлантическом океане на границе слоев с разной концентрацией солей действительно были зарегистрированы аномалии электрического поля, достигающие величин 2—3 мв и



даже 5 мв. Так например, максимальная величина аномалии градиента потенциала 4—5 мв была обнаружена в зоне Гольфстрима. Она, очевидно, соответствует нижней границе течения, на которой происходит смешение двух водных масс. Большая величина аномалии, видимо, объясняется тем, что водные массы, движущиеся в различных направлениях, «создают» дополнительный индукционный эффект. Интересно, что на границе между двумя водными массами обычно отмечается аномалия удельного электрического сопротивления. Вместе с тем, поскольку электрические процессы в водной толще локальны, а величины диффузионных потенциалов в морской воде ограничены, они гораздо меньше влияют на общую структуру электрического поля, чем индукция. Локальные электрохимические процессы могут создавать только сравнительно небольшие аномалии.

Если в морской воде рассеяны частицы какого-нибудь твердого вещества, то при помещении одного электрода в слой, содержащий взвесь, а второго — в чистую морскую воду между электродами возникнет разность потенциалов. Поскольку твердая взвесь в жидкой среде называется «суспензией», то и сам этот эффект можно назвать суспензионным. Величина разности потенциалов обычно невелика — не более милливольт. Она возрастает с ростом концентрации взвешенных частиц и с уменьшением их размеров.

Вероятно, во всей водной толще океана, соленостью 35‰, влияние суспензионного эффекта незначительно (несколько милливольт) и в основном ограничивается придонными слоями,

где могут быть интенсивно развиты мутьевые потоки.

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Если взять два неполяризующихся электрода и поместить один из них в сосуд с водой, содержащей культуру микроводорослей или бактерий, а другой — в чистую воду, то между этими электродами обнаружится разность потенциалов. Так был установлен биоэлектрический эффект. Первые работы проводились на Беломорской биологической станции МГУ в июле 1969 года (А. М. Городницкий, В. Ф. Федоров, В. Н. Максимов). Для опытов непосредственно из моря брали планктон, затем его «подращивали» в лаборатории на свету, добавляя в морскую воду соли азота и фосфора. Такие же опыты проводились затем в море.

Лабораторные эксперименты показали, что своим появлением разность потенциалов обязана клеткам водорослей, живущих в морской воде, поэтому эффект был назван биоэлектрическим эффектом фитопланктона. Чем больше концентрация клеток, тем сильнее электродвижущая сила. Если пробу морской воды с фитопланктоном заменяли отфильтрованной водой, разность потенциалов исчезала. Если же в пробу с фитопланктоном добавляли раствор, от которого водоросли погибали, знак потенциала менялся на обратный.

Биоэлектрический эффект был подтвержден также многочисленными измерениями в Белом и Черном морях, где плавучие микроводоросли (фитопланктон) образуют большие скопления. Измерения велись с борта судна. Один из двух неполяризу-

ющихся электродов располагался неподвижно у поверхности воды, а второй опускался на кабеле вниз с постоянной скоростью. Между электродами непрерывно измерялась разность потенциалов. При пересечении слоя с повышенной концентрацией фитопланктона нижним электродом на кривой потенциала электрического поля отмечалась отрицательная аномалия с амплитудой до 10 мв. Интересно, что при пересечении слоя с мертвыми микроводорослями знак аномалии менялся на обратный — так же, как и в лабораторных опытах.

Какова природа биоэлектрического эффекта, не совсем ясно. Либо он вызван собственными зарядами на поверхности клеток, либо какими-то процессами, протекающими внутри клеток, а может быть, существуют и другие источники... Несомненно одно — биоэлектрический эффект вызван микроводорослями. Какова бы ни была истинная природа эффекта, его можно использовать при изучении биологической структуры водной толщи и для других научных задач.

Таким образом, совокупность самых различных физических, химических и биологических процессов создает электрическое поле океана. Определить долю каждого непросто. Можно и нужно проводить моделирование процессов в лабораторных условиях, сочетая их с экспериментами в океане, причем в таких районах, гидрологический режим которых достаточно хорошо изучен. Несмотря на то, что изучение электрического поля океана только начинается, уже сейчас можно с уверенностью сказать, что исследование его природы обещает ученым немало открытий.



Кандидат географических наук
Г. В. АГАПОВА,
Н. Л. ЗЕНКЕВИЧ

Глубоководные желоба

В древности появился ручной лот (веревка с грузом на конце), которым мореплаватели измеряли глубину моря в непосредственной близости от берегов. Впервые измерить таким лотом глубину в открытом океане попытался Магеллан. В 1521 году неподалеку от островов Св. Павла и Тибурона в Тихом океане за борт был спущен лот более 1000 м, однако груз (пушечное ядро) дна не достиг. После Магеллана измерения океанских глубин также терпели неудачу — груз не касался дна. Поэтому представления о рельефе дна океанов и их глубинах очень долго оставались умозрительными. Многие географы поддерживали утверждение Аристотеля, что океаны — это бездонные пропасти.

Лишь в середине XIX века американский мичман Брук сконструировал лот с отделяющимся грузом, который надежно достигал дна. Идея создания такого лота столетием раньше Брука была высказана Петром I. Многочисленные экспедиции, вооружившись лотом Петра I — Брука, отправились во все моря и океаны на «охоту за глубинами». Началось открытие океанского дна.

В 1874 году американское гидрографическое судно «Тускарора» к северо-востоку от Японских островов измерило невероятную по тому времени глубину — 8513 м. Она долгое время считалась наибольшей глубиной Мирового океана. Так была открыта первая впадина на дне океана, которой присвоили имя корабля, — впадина Тускарора (ныне Курило-Камчатский глубоководный желоб).

В 20-х годах нашего столетия появились эхолоты. Измерение глубины в

Океанические желоба — самые глубокие впадины Земли. Их происхождение, строение и облик исследуют геофизическими методами и подводной фотографией.

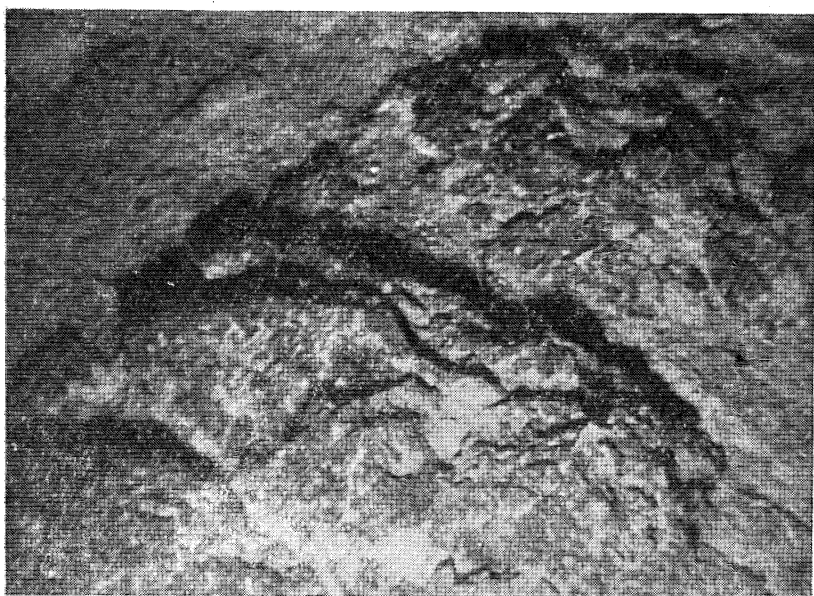
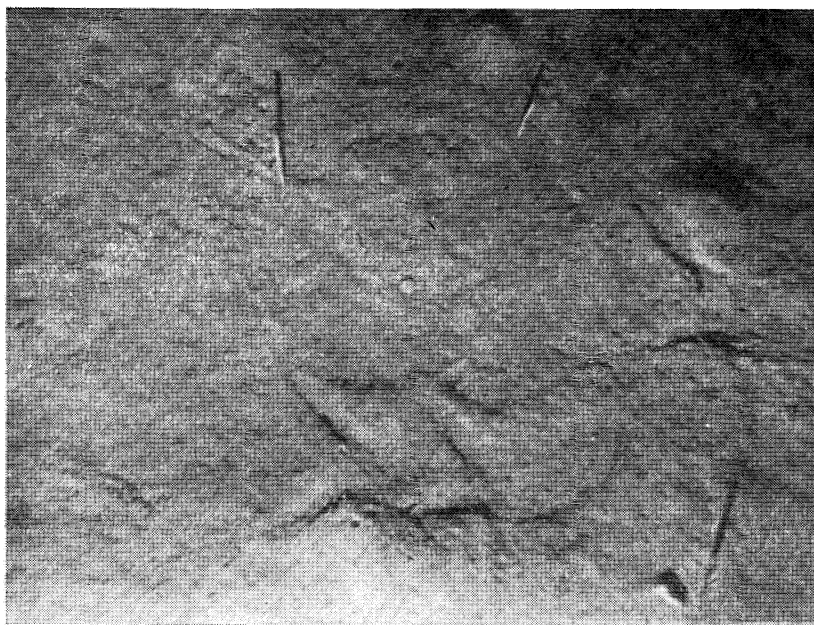
одной точке стало делом нескольких секунд, а не часов, как при использовании лота. Непрерывная запись глубин по всему пути следования корабля открыла перед исследователями истинный рельеф спрятанных под водой областей земного шара, о сложности и многообразии которого никто и не подозревал. Оказалось, что под толщей океанских вод скрываются наиболее удивительные формы рельефа нашей планеты. К таким формам рельефа, которых не встретишь на суше, относятся океанические желоба — самые глубокие впадины нашей планеты. Морфология желобов стала известной в результате подробного эхолотирования, а строение земной коры и мощности осадочного покрова — благодаря использованию геофизических методов.

Океанические желоба представляют собой узкие ложбины, протягивающиеся иногда на 2—3 тыс. км. В Марианском глубоководном желобе Тихого океана советским исследовательским судном «Витязь» была измерена наибольшая глубина Мирового океана — 11 054 м. Сейчас насчитывается около 40 глубоководных желобов, причем подавляющее их большинство приходится на Тихий океан. Если посмотреть на карту Тихого океана, нетрудно обнаружить отчетливую закономерность: глубоководные желоба образуют почти непрерывные цепи, простирающиеся вдоль гори-

стых берегов Центральной и Южной Америки, а также вдоль островных дуг северной, западной и юго-западной окраины океана. Почти все желоба имеют своеобразную форму — это дуги, обращенные выпуклостью в сторону открытого океана.

Глубоководные желоба являются структурными границами между материком и океаном, на которых происходит смена типов земной коры. Один склон желоба подстилается материковой корой, а другой — океанической. В соответствии с современными представлениями о развитии океанов, глубоководные желоба образуются при опускании океанической коры под материковую. Эта граница между двумя типами земной коры уходит в недра Земли на несколько сот километров. Обычно здесь располагаются очаги глубокофокусных землетрясений. (Временами толчки огромной силы сотрясают побережье Тихого океана.) Поперечные профили глубоководных желобов, как правило, асимметричны, причем приконтинентальные склоны всегда выше и круче океанических. Почти везде стенки желобов сильно расчленены крутыми уступами и ступенями, глубокими каньонами и депрессиями, осложнены продольными хребтами и гребнями. Дно желобов обычно узкое и выровненное, ширина его не превышает нескольких километров и редко достигает до 10—20 км.

Желоба, окаймляющие континенты, представляют собой своеобразные ловушки, где оседает большая часть поступающего с материка осадочного материала. Нигде в океане процесс аккумулятивного выравнивания — мощный фактор преобразования подвод-



Средняя часть континентального склона Перуанско-Чилийского краевого желоба, глубина 4200 м. На поверхности мягких осадков видны следы донных животных — холмики, норки, борозды

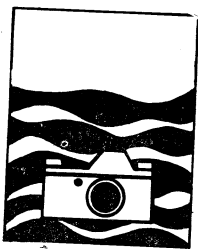
Нижняя часть склона, глубина 4900 м. Здесь, на крутом участке видны раздробленные твердые коренные породы. В углублениях скал — пятна мягких осадков со следами фауны

ного рельефа — не выражен так четко, как в глубоководных желобах. Осадки, сползая по склонам желобов под действием силы тяжести, успевают выровнять склоны и, опускаясь на дно, заполняют его толщей иногда до 1,5—2 км. Нигде на ложе океана осадочный покров не достигает такой мощности.

Краевые глубоководные желоба — очень древние структуры океана, о чем свидетельствует совершенно особая фауна. Только здесь на глубинах, превышающих 6000—6500 м, обнаружена фауна, сохранившая признаки очень древних и примитивных видов. Кроме того, каждый желоб имеет свою, несколько отличную от других фауну. Вероятно, желоба никогда не соединялись между собой и каждый из них переживал свою самостоятельную геологическую историю.

Существование жизни на дне самых глубоких желобов Мирового океана, а также встречаемые там различные признаки движения придонной воды указывают на то, что глубинные водные массы в желобах не застойные, как считалось еще совсем недавно, и что они вовлекаются в общую циркуляцию океанических вод.

В последнее время в центральных районах океанов были обнаружены глубокие узкие ложбины, не связанные с островными дугами и прибрежными горными сооружениями. Это — желоба-разломы, образовавшиеся, вероятно, одновременно с разрывами и сдвиговыми нарушениями земной коры. Желоба-разломы прямолинейны, протяженность их невелика — около 400—600 км, поперечные профили их симметричны, а дно более широкое и плоское, чем у краевых жело-



бов. На дне желобов-разломов также могут накапливаться значительные толщи осадков. Несмотря на существенные различия в крупных чертах строения краевых глубоководных желобов и желобов-разломов и различное их происхождение, характер микрорельефа на склонах и на дне очень схож. Это указывает на то, что и сейчас в желобах обоих типов протекают одни и те же экзогенные процессы.

А как выглядят склоны и дно желобов? Как преобразуют их современные экзогенные процессы — осадконакопление, подводные оползни, придонные течения и приливо-отливные колебания, жизнедеятельность донных организмов, химические процессы? Каков микрорельеф глубоких впадин? Как разнообразны его формы? Долговечны ли они и до каких глубин распространяются? Пожалуй, самый полный ответ на большинство подобных вопросов может дать лишь глубоководная фотография. Снимки поверхности дна предоставляют возможность не только увидеть подводный микрорельеф и оценить его качественно, но в ряде случаев позволяют также провести и различные измерения и подсчеты.

К настоящему времени фотоаппарат побывал уже на самых больших глубинах океана и почти во всех желобах. («Земля и Вселенная», № 4, 1970 г., стр. 29—36.— Прим. ред.). При фотографировании в желобах на их склонах и дне обнаружили разнообразные формы микрорельефа, свидетельствующие о сложности протекающих там современных экзогенных процессов. Как было установлено в результате фотосъемки, характер микрорельефа в желобах резко ме-

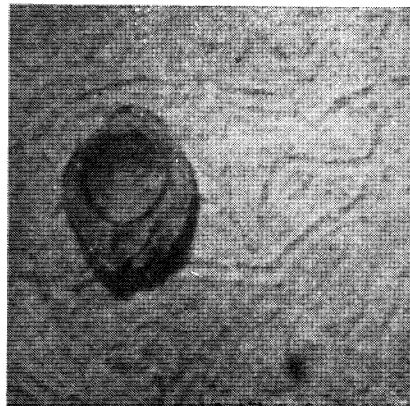
няется на небольших расстояниях. Относительно выровненные участки, сложенные осадками, чередуются с выходами обнаженных скал, нагромождениями валунов, россыпями гальки и другого обломочного материала. На самых крутых участках уступов, на вершинах продольных гребней, а также на бортах глубоких каньонов осадочный покров, как правило, утончается и часто выклинивается. К этим

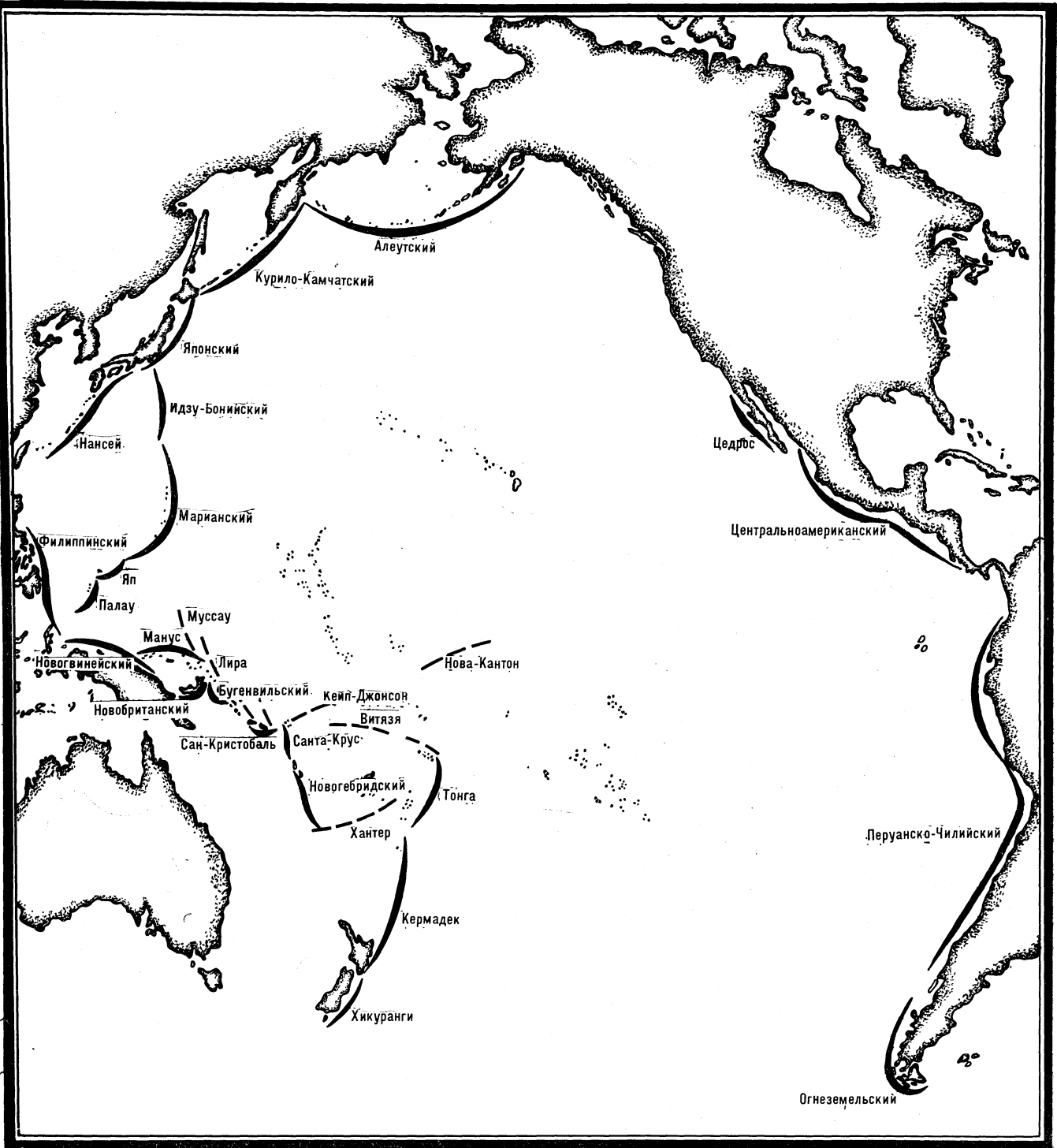
■
Северный склон Курило-Камчатского глубоководного желоба, глубина 4000 м. Поверхность мягких осадков в значительной степени нарушена деятельностью донных животных. Слева — крупная актиния, распустившая свои щупальца в ожидании добычи

■
Западный склон краевого желоба Кермадек, глубина 4870 м. На этой уникальной фотографии виден представитель кишечнодышащих животных — баланоглосс, за которым тянется причудливо извивающийся фекальный валик.

■
Плоское дно Новобританского глубоководного желоба, глубина 8235 м. На поверхности мягких осадков видны многочисленные следы роющих донных организмов — бороздки, множество мелких холмиков. Сюда, на глубину несколько километров, опустилась скорлупа кокосового ореха (левая часть снимка)

■
Глубоководные желоба Тихого океана. Желоба обозначены черной линией, а желоба-разломы — пунктирной линией





Руды океана

местам приурочены четко различимые на фотографиях выходы обнаженных коренных пород и скал. У подножий уступов, как правило, скапливается обломочный материал.

На поверхности мягких осадков, особенно песчаных, покрывающих склоны и дно желобов, часто можно наблюдать различные формы микро-рельефа, образованные придонными течениями. Это—промоины около отдельных валунов и выходов скал, аккумулятивные осадочные шлейфы с подветренной стороны различных объектов на дне, рябь, волнистость осадков и так далее. Там, где склоны желобов покрыты осадками, на их поверхности почти всюду можно видеть многообразные и зачастую причудливые биогенные образования—холмики, ямки, норы, борозды, валики и другие следы, оставленные различными донными организмами в процессе их жизнедеятельности. Многие, хорошо видимые на донных фотографиях следы представляют собой загадку для биологов: до сих пор не ясно, какие животные их оставили.

Глубоководные океанические желоба—древние структуры Земли. В геофизических исследованиях океанов им уделяется такое же внимание, как и срединным океаническим хребтам. Предполагают, что развитие этих двух крупных структур океанического дна взаимосвязано: если хребты являются областями расширения дна, то желоба возникают как структуры сжатия при встрече литосферных плит. И необходимо еще много экспедиционных и исследовательских работ, чтобы решить, каков механизм их образования.

Фото Н. Л. ЗЕНКЕВИЧА

Под многокилометровой толщей воды происходили геологические процессы, которые лепили облик дна и формировали месторождения полезных ископаемых.

Геология полезных ископаемых возникла и развилась на основе известных месторождений. В результате исследований, проведенных на суше, установлены две группы месторождений. К первой—эндогенной группе относятся месторождения, образованные внутренними процессами в земной коре: внедрением расплавленной магмы, выделением из магмы газов, паров и горячих водных растворов при высоком давлении. Ко второй—экзогенной группе относятся месторождения, «обязанные» геологическим силам, действующим на поверхности Земли преимущественно под влиянием солнечной энергии, нередко при активном участии живого вещества биосферы.

Разнообразие генетических типов и видов полезных ископаемых прямо связано с разнообразием геологического строения земной коры. Поэтому в районах, сложенных однородными комплексами горных пород, полезные ископаемые представлены ограниченным числом видов, а в сложно построенных районах залегает множество месторождений различных по составу полезных ископаемых.

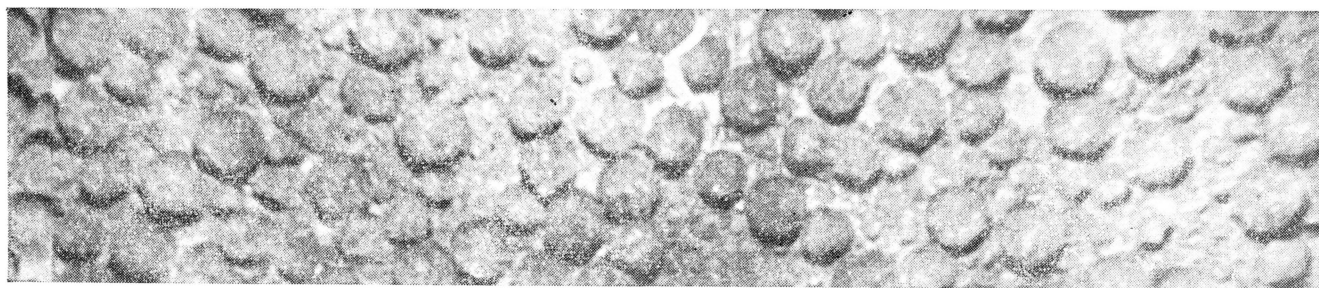
ЗЕМНАЯ КОРА ОКЕАНОВ И КОНТИНЕНТОВ

Какие же геологические процессы характерны для океана? Сведения о геологическом строении океаническо-

го дна получены, в большинстве своем, по косвенным, геофизическим данным: силе тяжести, скорости прохождения различных сейсмических волн, намагнитченности горных пород, величине теплового потока из недр Земли и другим. В последние годы материалы глубоководного бурения с корабля «Гломар Челленджер» дали возможность узнать о мощности, составе и строении толщи осадков на дне океанов и верхних горизонтов изверженных пород, подстилающих осадки. Теперь можно говорить о коренном отличии земной коры под океанами и континентальной земной коры. Океаническая кора имеет небольшую мощность порядка 5—6 км, а континентальная достигает 35—40 и даже 60—70 км в горах.

В формировании океанической коры участвуют породы лишь основного ряда, относительно бедные двуокисью кремния («кремнекислотой»), но обогащенные железом и магнием. Эти породы образуют нижний океанический слой коры мощностью до 4—5 км и второй слой вулканических лав до 1—2 км. Над изверженными породами в океане залегает слой осадков, общая мощность которых составляет всего несколько сот метров. Возраст осадочной толщи в океанах не превышает 140—150 млн. лет. Более древних океанических осадков, если они и существуют, пока не обнаружено. Нижележащие изверженные породы должны быть ненамного древнее осадочной толщи, следовательно, можно предположить, что ныне существующая океаническая земная кора относительно молода.

Структура континентальной коры гораздо сложнее. Ее нижний, базаль-



товый слой близок к составу пород океанической коры. Выше залегает слой, называемый условно «гранитным», в котором преобладают породы с большим содержанием двуокиси кремния, обогащенные щелочными металлами — натрием и калием. По своему происхождению эти породы метаморфические, то есть образованные при переплавлении и перекристаллизации других пород. Над «гранитным» слоем, как правило, лежит толща осадочных пород — глин, песчаников, известняков и других, менее распространенных. В составе континентальной коры обнаружены наиболее древние породы Земли — их возраст превышает 3 млрд. лет. Таким образом, континенты можно отнести к самым древним образованиям в каменной оболочке Земли — литосфере.

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

Если сопоставить строение земной коры континентов и океанов, то можно увидеть, что в континентальной коре больше предпосылок для разнообразных эндогенных месторождений, чем в океанической, коль скоро в их формировании принимают участие и основные, и кислые гранитные породы. Это подтверждается и фактическими находками. На суше обнаружены месторождения всех черных, цветных, редких, радиоактивных, благородных металлов и неметаллических элементов в самых различных геологических

условиях. В океанической же коре существуют только основные породы. Здесь обнаружены лишь проявления хромового оруденения, тонкие прожилки с сульфидами железа и меди, самородной меди. Недавно установлено, что под воздействием горячих растворов (гидротерм) в осадках возникают новые минералы.

В океане много подводных вулканов. При вулканических извержениях кроме расплавленной лавы и ее брызг (вулканического пепла) выделяется огромное количество газов и паров. Смешиваясь с морской водой, вулканические газы и пары образуют растворы, содержащие металлы. Вот эти-то металлы в подходящих условиях могут осадиться, образуя смешанные, **вулканогенно-осадочные месторождения**. Подобные месторождения найдены, например, на дне Красного моря в изолированных впадинах вдоль осевой зоны, где накапливаются горячие (до $+56^{\circ}\text{C}$), тяжелые рассолы и осаждающиеся из них рудные осадки — металлоносные илы. В рассолах содержится железо, марганец, цинк, свинец, серебро, золото и другие металлы, причем их концентрации в тысячи раз больше, чем в морской воде. В илах эти же металлы представлены окислами и сульфидами. Запасы медных и цинковых руд на дне впадины «Атлантис — II» в Красном море, например, оцениваются суммой более 2 млрд. долларов. Такое месторождение цветных металлов считается уже достаточно крупным.

Вулканогенно-осадочные руды встречаются и в океанах, где проявляется подводный вулканизм. Нагретые воды с повышенным содержанием

некоторых металлов обнаружены в депрессиях дна вдоль осевой зоны Восточно-Тихоокеанского поднятия. Исследования на советском судне «Дмитрий Менделеев» показали, что огромная площадь дна в Тихом океане (между Галапагосскими островами и островом Пасхи), покрыта осадками, сильно обогащенными железом и другими металлами. Такие осадки обнаружены и в других океанах при глубоководном бурении с корабля «Гломар Челленджер».

ТЕКТОНИКА И ОРУДЕНЕНИЕ

До сих пор речь шла о видах эндогенного оруденения в океанической коре. Но кроме физико-химической обстановки рудообразования необходимы еще условия, при которых рудная масса могла бы отделиться от силикатного расплава, и место, где руды могли бы отложиться. Как говорят геологи, нужна соответствующая тектоническая обстановка и подходящие для рудоотложения структуры в земной коре. Не вдаваясь в детали дискуссии о «новой глобальной тектонике», остановимся лишь на тех тектонических аспектах, которые можно считать доказанными.

Существующая океаническая кора зародилась, вероятно, в начале мезозойской эры и продолжает формироваться ежегодно и ежечасно в осевых, рифтовых зонах внутриокеанических подвижных поясов. Рифтовые зоны образуют почти непрерывную систему срединных или смещенных относительно осевой линии широких поднятий дна с общей их протяженностью около 80 тыс. км. Название «хребет» мало подходит для обозна-

Железо-марганцевые конкреции на дне океана, «рудные содержания»
Фото Н. Л. ЗЕНКЕВИЧА





чения очень пологих и широких поясов активизации океанической коры — термин «поднятие» больше соответствует морфологии этих структур. По осевой зоне поднятий, как правило, наблюдается продольная депрессия глубиной 1,5—2 и более километров и шириной от 5—7 до 30—50 км — **рифтовая долина**. В зоне рифта происходит активный вулканизм и наблюдается практически непрерывающаяся сейсмичность с неглубокими эпицентрами землетрясений. Одной из наиболее примечательных особенностей рифтовой зоны можно назвать относительную молодость выходящих в ее пределах изверженных пород — они, как правило, не «старше» нескольких миллионов лет. По мере же удаления в стороны от рифтовой зоны возраст пород и залегающих на них осадков увеличивается. Этот факт, в частности, и позволяет говорить о том, что океаническая кора в рифтовой зоне является новообразованной.

■ *Таким представится рельеф дна Атлантического океана, если мысленно удалить из него воду. С севера на юг простирается Срединно-Атлантический хребет. Этот внутриокеанический подвижный пояс как будто разрезан продольной рифтовой долиной, а она в свою очередь рассечена многочисленными поперечными разломами. По обе стороны от хребта лежит плоские глубоководные котловины, со дна которых воздымаются вулканические массивы. Континентальный склон крут и изрезан подводными каньонами. Шельф сильно расширяется в северных и южных широтах. «Физиографическая диаграмма» составлена Б. Хизеном и М. Тарп (США)*

Поскольку в зоне рифта происходят наиболее активные процессы вулканизма и тектонические движения, то именно здесь правомерно ожидать проявления эндогенного оруденения. Отчасти это подтверждается находками вулканогенно-осадочных руд типа залегающих в Красном море (а Красное море — не что иное как гигантский рифт) и в других районах рифтовых зон океанов. Несомненно, трещины и ослабленные напряжения в породах рифтовой зоны создают благоприятные условия для рудоотложения. Еще более благоприятные для рудоотложения тектонические условия должны быть в районах пересечения рифтовых зон поперечными глубинными разломами. Как в самой рифтовой структуре, так и по глубинным разломам к поверхности литосферы поднимается вещество верхней мантии вместе с рудными компонентами. Поэтому в районах пересечения глубинных разломов с рифтовыми зонами наиболее вероятно формирование рудных узлов. Дело ближайшего будущего — исследовать такие районы.

Другие структуры, с которыми могут быть связаны эндогенные месторождения в океанической коре, — это крупные вулканические сооружения. Морфологически такие сооружения представляют крупнейшие горные хребты и плато, но от привычных гор на суше они отличаются вулканическим происхождением. Крупные вулканические сооружения есть во всех океанах. Наиболее характерны они для центральной области Тихого океана — Полинезии и Микронезии. Такие массивы, как Гавайский хребет, подводные горы Маркус-Неккер, хре-

бет с архипелагами островов Лайн и Туамоту и многие другие представляют типичные примеры крупных вулканических структур; только в Тихом океане в них сосредоточено более 20 млн. куб. км базальтовых лав. Геофизические исследования показывают, что в глубине этих структур находятся крупные тела более плотных, чем базальты, пород. Очевидно, это — **интрузии**, то есть глубинные внедрения основной и ультраосновной магмы. Поскольку в таких структурах наблюдается относительный тектонический покой, то, возможно, что с интрузиями могут быть связаны магматические месторождения железа, хрома, титана, платиноидов, меди и никеля. Эндогенные месторождения в океанической коре еще почти не изучены; их выявление — дело дальнейших исследований, а освоение — задача достаточно отдаленного будущего.

КОНКРЕЦИИ — МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ

Более изучены и доступны для исследований экзогенные месторождения океанического дна. Они образуются путем осаждения частиц из водной или воздушной среды, в результате жизнедеятельности организмов (преимущественно простейших и растений) или вследствие химических реакций — часто все эти факторы действуют совместно. Главной энергией, питающей экзогенные процессы на поверхности Земли, является солнечная энергия. Поэтому в пучинах океана, куда непосредственно не проникают солнечные лучи, экзогенные процессы подавлены, менее разнообраз-

Ti-ильменит, рутил

Sn-касситерит

Fe-магнетит

Zr-циркон

M-монацит

Cr-хромит

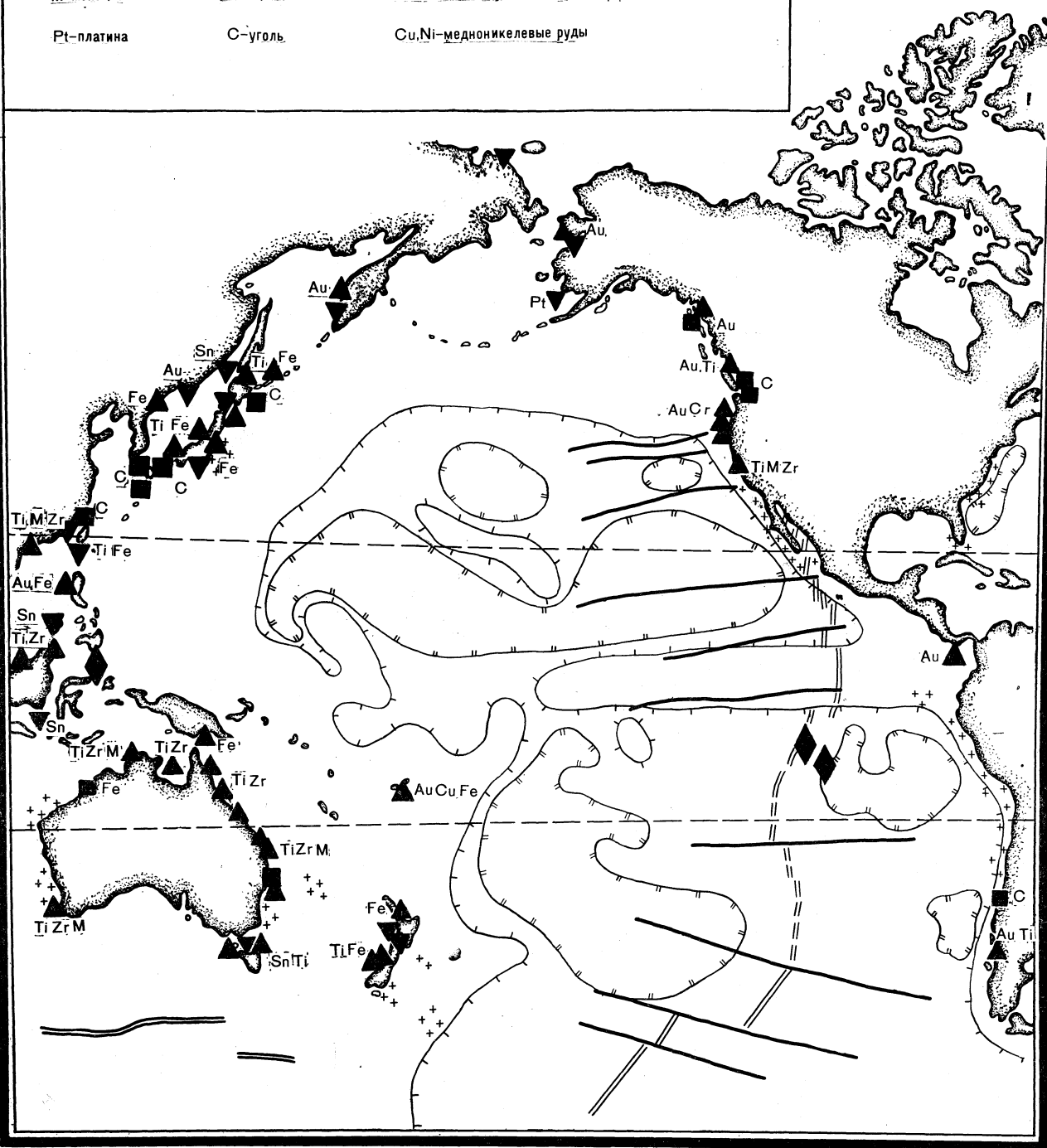
Fe-железные руды

Au-золото

Pt-платина

C-уголь

Cu, Ni-медноникелевые руды





разны, чем на суше и в мелководных морях, и приводят к образованию ограниченного числа видов полезных ископаемых. Вместе с тем, количество отдельных видов минерального сырья (его запасы) достигают огромной величины и нередко превышают запасы тех же видов ископаемых во всех известных месторождениях на суше.

Наиболее важный вид минерального сырья на дне океанов — это накопления окислов железа и марганца в виде стяжений — конкреций и корок. Впервые конкреции были обнаружены в океане 100 лет назад, во время первой комплексной научной экспедиции для изучения океана на английском судне «Челленджер». Несколько лет спустя после экспедиции «Челленджера» А. Норденшельд во время плавания на судне «Вега» по Северному морскому пути обнаружил конкреции в Карском море. Он впервые указал на возможность использования их в

качестве руды. Однако в то время не было возможности оценить эти находки. Конкреции — многометалльные образования, они содержат примеси никеля, меди, кобальта, свинца, цинка, молибдена, ванадия и других металлов, причем первые три металла часто присутствуют в количествах более 1%, что превышает их максимальное содержание в промышленных рудах, разрабатываемых на суше. Эти примеси составляют главную ценность конкреций как минерального сырья.

Однако конкреции залегают далеко не равномерно на океаническом дне. Они образуются в тех районах, где осадконакопление идет очень медленно или вовсе не происходит из-за смыва осадков течениями. В центральных районах Тихого океана скорость накопления осадков порядка 1 мм в 1000 лет, примерно в тысячу раз медленнее, чем осаждение пыли в городской квартире. Скорость роста конкреций почти такая же — около 1 мм в 1000 лет. Благодаря чрезвычайно медленному осаждению вещества и происходит относительное обогащение конкреций металлами-примесями. Поставщиком металлов, осаждающихся в конкрециях, являются продукты химического разложения горных пород на суше, сносимые в океан реками в виде растворов и тончайшей механической взвеси, а также выветривание пород на дне и вулканическая деятельность. Замечено, что в разных районах океанов состав конкреций существенно различается. Советские геологи моря, а также американские специалисты показывают, что можно выделить обширные районы дна, где в конкрециях преобладает

один или два металла, например, никель и медь, кобальт, марганец или железо. Это можно объяснить вулканической деятельностью на океаническом дне, интенсивностью подводного выветривания изверженных пород или составом приносимых течениями продуктов разрушения континентов.

Конкреции наиболее распространены и имеют самое высокое содержание металлов-примесей в Тихом океане. Почему это происходит?

Оказывается, в Тихий океан попадает наименьшее, сравнительно с другими, количество осадков с суши, и к тому же эти осадки перехватываются котловинами окраинных морей и глубоководными желобами и не достигают центральной области океана. В центральной области преобладают осадки планктонных организмов — известковые скорлупки фораминифер и опаловые (кремнистые) оболочки радиолярий и диатомовых водорослей. Известковые раковинки фораминифер растворяются на глубине более 4,5 км, поэтому в глубоководных котловинах океана осадки состоят лишь из тончайшей взвеси, частиц, занесенных ветрами с суши, и космической пыли. Именно в таких условиях и наблюдаются наибольшие скопления конкреций, напоминающие булыжную мостовую.

В других океанах конкреций меньше из-за более высокого темпа осадконакопления. Но там, где есть сильные придонные течения, смывающие осадки, конкреции часто образуют значительные залежи. Например, с подводного плато Блейк (у восточного побережья США) Гольфстрим смывает все рыхлые осадки. Такие районы можно найти и в других океанах.

Схема месторождений твердых полезных ископаемых на дне Тихого океана. Береговые россыпи обозначены черными треугольниками, подводные — перевернутыми треугольниками, а залежи фосфоритов — крестиками. Зачерненные квадраты — подводные шахты, ромбы — проявления вулканогенно-осадочного оруденения. Области распространения железомарганцевых конкреций на дне очерчены замкнутыми линиями со штрихами. Рифтовая зона внутриокеанических подвижных поясов обозначена двойными отрезками, а глубинные разломы — сплошными линиями



В последние годы ряд зарубежных фирм ведет экспериментальные работы по добыче конкреций. Из миллиона тонн конкреций можно получить примерно 250 тыс. т марганца, 16 тыс. т никеля, 10—12 тыс. т меди, 8—10 тыс. т кобальта. Общие же запасы этого минерального сырья в одном только Тихом океане достигают сотен или даже тысяч миллиардов тонн, так что практически эти запасы неисчерпаемы.

Из других видов экзогенных полезных ископаемых океана большое значение имеют береговые и мелководно-морские россыпи, содержащие минералы титана, циркония, олова, золота, платины, редких и радиоактивных элементов, а также алмазов и нерудных полезных минералов. На шельфе и континентальном склоне нередко залежи фосфоритов. Сами осадки — песок, гравий, известковистые глины, кремнистые осадки, раковины моллюсков, кораллы — тоже полезные ископаемые.

Мы еще мало знаем о минеральных ресурсах океанического дна. Это и не удивительно, если учесть, что площадь дна Мирового океана в 2,3 раза превышает площадь суши, а исследовано оно несравнимо меньше, да к тому же в основном косвенными методами. Нет сомнений в том, что океан в будущем начнет поставлять человечеству многие виды полезных ископаемых, но далеко не все, какие имеются на континентах. Поэтому нельзя рассчитывать, что океанические полезные ископаемые полностью снимут ту угрозу «минерального голода», признаки которого ощущаются уже сейчас.

ИСКУССТВЕННЫЕ ПОЛЯРНЫЕ СИЯНИЯ

В ночь с 29 на 30 мая 1973 года в Советском Союзе впервые проведен эксперимент «Зарница». С помощью метеорологической ракеты МР-12 было создано искусственное полярное сияние на высотах 100—180 км.

Ракета несла ускоритель электронов, разработанный Институтом электросварки имени Е. О. Патона АН УССР. Когда она вышла за пределы атмосферы, на высоте около 100 км электронная «пушка» направила потоки заряженных частиц в околоземное пространство. Энергия электронов в пучке составляла от 7,5 до 10 тыс. эв при мощности всего пучка около 400 квт. На 200-й секунде полета ракета достигла максимума высоты — 163 км. Эксперимент продолжался 232 секунды на восходящей и нисходящей ветвях траектории полета ракеты, вызывая розовое свечение неба, подобное полярному сиянию.

Детектор, разработанный Институтом космических исследований АН СССР, регистрировал электроны, отраженные от земной атмосферы. За искусственным вторжением электронов в ионосферу следило несколько наземных станций с оптическими (включая телевизионные) и радиофизическими средствами наблюде-

ния. Для того чтобы аппаратура на наблюдательных пунктах зафиксировала это вторжение, необходимо было выбрать темную безлунную ночь и абсолютно чистое небо.

«Зарница» — первый «управляемый» эксперимент в космосе, осуществленный в СССР. В нем использован принципиально новый, активный метод. (До сих пор эксперименты велись пассивно — фиксировалось развитие естественных процессов и явлений в околоземном пространстве.) Исследователи получили свыше 300 фотографий искусственного полярного сияния. Удалось выяснить особенности прохождения электронного пучка, тонкую структуру лучевых форм сияния, лучше понять некоторые вопросы вторжения энергичных электронов в верхнюю атмосферу.

Большой интерес к результатам проявляют французские ученые. Ведь «Зарница» — это своего рода подготовка к предстоящему советско-французскому эксперименту «Аракс», который намечается на зиму 1974/75 года. С острова Кергелен (южная часть Индийского океана) французские ракеты-носители «Эридан» поднимут советский ускоритель электронов и большой комплекс советской и французской бортовой научной аппаратуры для проведения ионосферных исследований. На границе ионосферы инжектор выпустит мощный пучок электронов. Над Кергеленом и территорией Архангельской области должно вспыхнуть полярное сияние. Программой предусмотрены наземные оптические и электромагнитные исследования в Архангельской области. Эксперимент «Аракс» даст сведения о строении магнитосферы, о поведении частиц в ней, вскроет механизм образования полярных сияний. В перспективе он позволит приблизиться к разрешению проблемы управляемого воздействия на околоземное пространство.

Л. В.



Профессор
Ю. А. СУРКОВ,
Б. М. АНДРЕЙЧИКОВ

Исследования атмосферы Венеры советскими автоматическими станциями

АТМОСФЕРА ВЕНЕРЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ С ЗЕМЛИ

К началу 60-х годов XX столетия наземные спектроскопические измерения оставались единственным методом изучения атмосфер планет. Большинство сведений принесли наблюдения солнечного света, отраженного атмосферами планет (инфракрасная спектроскопия). Однако интенсивное перемешивание земной атмосферы и поглощение наблюдаемого излучения ее компонентами (углекислым газом, озоном, кислородом) существенно ограничивали возможности наземных методов. Изучение химического состава атмосферы Венеры осложнялось плотным облачным слоем, который не позволял проникнуть в глубинные слои атмосферы. Не было точных данных о природе, мощности и оптических параметрах облачного слоя Венеры, что крайне затрудняло определение уровня формирования полос поглощения, а следовательно, и относительной концентрации компонентов.

Наземные наблюдения атмосферы Венеры надежно установили лишь присутствие в ней углекислого газа, содержание которого предполагалось разными авторами от нескольких до ста процентов. Многие исследователи обнаружили пары воды. Однако и здесь результаты оказались неоднозначными — от 1 до 10–4%. Кое-кто отыскивал даже окись углерода. Некоторые наблюдатели находили в спектре Венеры линии кислорода, иные — не находили их и давали спектроскопический верхний предел его возможного содержания. Верхним пределом ограничивались и остальные

Исторический полет «Венеры-4» в 1967 году открыл новый этап исследования «планеты загадок» космическими автоматами. Что нового с тех пор мы узнали об атмосфере Венеры!

ные предполагаемые компоненты атмосферы. Сведения о физических характеристиках атмосферы по результатам наземных измерений были крайне неопределенными и противоречивыми. Данные о давлении и температуре у поверхности планеты вообще отсутствовали.

ПРИБОРЫ ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Советские межпланетные станции впервые доставили научную аппаратуру в атмосферу и на поверхность Венеры. Появилась возможность применять физические и химико-аналитические методы, которые используются на Земле при изучении атмосферы и литосферы.

Для определения содержания главных компонентов атмосферы Венеры выбрали хорошо известный манометрический метод. Он основан на измерении остаточного давления газовой смеси после поглощения определяемого компонента. Измерительный прибор отличается простотой и надежностью. В сущности это — малогабаритная быстродействующая химическая лаборатория. Вслед за командой на включение все операции в ней — взятие пробы атмосферы на анализ, герметизация прибора, ввод

химических реактивов и вывод информации — осуществляются автоматически. «Руководит» работой программно-временное устройство.

Для определения содержания воды в атмосфере Венеры применяли электрохимический метод, основанный на измерении электропроводности химического реактива, взаимодействующего с водой.

Конструкторы прибора, регистрирующего аммиак, использовали способность химического реактива менять цвет и размер окрашенного участка во время контакта с газовой смесью, содержащей аммиак. Применялись также датчики, принцип действия которых заключался в измерении теплопроводности и теплоты химического взаимодействия.

Газоанализаторы были установлены на автоматических станциях «Венера-4», «Венера-5», «Венера-6», «Венера-8». Анализ химического состава атмосферы Венеры проводился на разных уровнях при значениях давления от 0,5 до 10 атм.

НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

В результате непосредственных измерений атмосферы Венеры стало ясно, что углекислый газ — основной компонент атмосферы, составляющий в среднем 97 объемных процентов. Азот присутствует в количестве, не превышающем 2%, кислород — 0,1%. Высокая концентрация паров воды зарегистрирована лишь в верхних слоях. С уменьшением высоты заметна тенденция к уменьшению содержания паров воды. Температура атмосферы у поверхности планеты близка к 750° К, а давление достигает 90 атм.

Удалось установить также, что ат-

мосферы Земли, Венеры и Марса не смотря на совершенно различный состав и строение имеют единую природу, следовательно, имеют одинаковое происхождение и чрезвычайно похожее развитие.

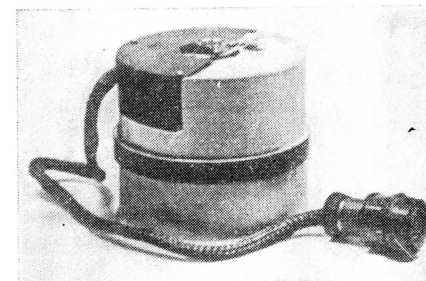
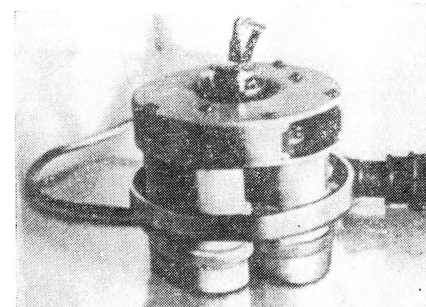
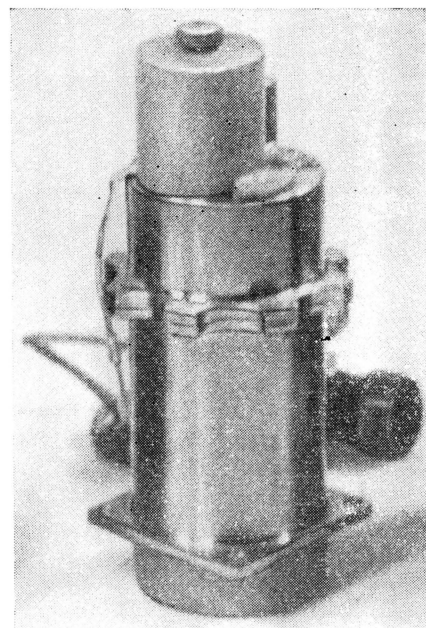
Мнение большинства ученых сходится на том, что в период образования из протопланетного газо-пылевого облака планеты обладали первичными атмосферами, совершенно не похожими на современные. Основными компонентами первичных атмосфер были наиболее легкие и распространенные в Солнечной системе газы — водород, гелий и, вероятно, некоторые другие инертные газы. Остальные газообразные компоненты — вода, углекислый газ, аммиак и другие — находились в связанном состоянии в твердой фазе первичного планетного вещества.

Со временем естественные радиоактивные элементы, входящие в состав планетного вещества, распались. Выделялось радиогенное тепло. Недра планет расплавились, происходила дифференциация (расслоение) вещества на оболочки. На поверхность извергалась наиболее легкоплавкая фракция, которая затем остывала и образовала кору планет. Излившаяся магма выделяла пары воды, углекислый газ, аммиак, хлористый аммоний, сернистый газ, хлористый и фтористый водород и некоторые другие газообразные вещества. Они и стали родоначальниками вторичной атмосферы. (Действующие на Земле вулканы до сих пор поставляют в земную атмосферу эти газы.) Дальнейшая эволюция атмосфер планет определялась многими факторами. Самые легкие газы — водород и гелий —

постепенно уходили в космическое пространство; наиболее активные взаимодействовали с горными породами. Существенное влияние на процессы формирования атмосферы оказывало солнечное излучение, под действием которого происходили распад (фотодиссоциация) сложных газов и образование свободного водорода, кислорода, азота. (На Земле развитие атмосферы тесно связано и с биосферой, то есть с влиянием животного и растительного мира.) Таким образом, атмосфера постоянно изменялась в течение всей истории планеты, ее эволюция тесно связана с эволюцией самой планеты.

ГИПОТЕЗЫ ПОДТВЕРЖДАЮТСЯ

Происхождение и эволюцию современных атмосфер планет пытались объяснить и ранее, до полета космических станций к Венере. Однако это были лишь предположения. И только теперь, сравнивая атмосферы Венеры и Земли, мы убеждаемся в правильности существовавших представлений. Общее количество легколетучих компонентов (и тех, которые входят в состав атмосфер планет, и тех, которые находятся в связанном состоянии в осадочных породах и гидросфере), выделившихся при дифференциации вещества Земли и Венеры, одинаково. Но на Земле температура ниже, большая часть легколетучих составляющих находится в связанном состоянии в твердой и жидкой фазе земной коры. На Венере из-за высоких температур они практически полностью выделились в атмосферу. Существенно отличает Венеру лишь большой



Газоанализаторы, которые устанавливались на советских автоматических станциях «Венера»



дефицит воды. Сколько бы воды ни содержалось там в облаках, ее количество нельзя сравнить с объемом гидросферы Земли. По-разному пытаются объяснить дефицит воды на Венере, но все попытки исходят из одного: Венера расположена к Солнцу ближе, чем Земля. Конечно, происхождение плотной обезвоженной атмосферы Венеры определялось ее близким расположением к Солнцу. Допустим, что в каком-то периоде развития планеты в ее атмосфере были небольшие количества воды и углекислоты, что привело к возникновению таких условий, при которых солнечное тепло проникало сквозь тонкую атмосферу и нагревало поверхность. Тепловой поток, излучаемый поверхностью, в значительной мере поглощался атмосферой, то есть создавался «тепличный эффект». В результате поверхность планеты разогревалась, а вода и углекислота интенсивно выделялись в атмосферу. Увеличение их содержания в атмосфере усиливало тепличный эффект, происходил саморазогрев поверхности, вызвавший образование тяжелой углекислой атмосферы. Затем наступило динамическое равновесие атмосферы с поверхностными породами. Оно определяется физико-химическими условиями, существующими ныне на планете.

Интересно сравнить атмосферы трех планет — Венеры, Земли и Марса. Венера расположена ближе к Солнцу, и у нее самая плотная атмосфера. Земля находится дальше, и приблизительно в 100 раз меньше давление у ее поверхности. Марс — еще дальше, давление у его поверхности в 100 раз меньше, чем на Земле.

ЗАГАДОЧНЫЕ ОБЛАКА ВЕНЕРЫ

Ученые не располагают надежными данными, которые позволили бы понять природу венерианских облаков. Появились различные, подчас фантастические предположения. Пока имеются лишь две возможности для характеристики облачного слоя планеты. Во-первых, — общие соображения о компонентах поверхностных пород, которые способны перейти в газообразное состояние при температуре и давлении, существующих на поверхности Венеры. Во-вторых, — выбор газообразных соединений со спектрами поглощения, наблюдаемыми наземными приборами в атмосфере Венеры. Среди множества летучих соединений, которые могли бы присутствовать в облаках, чаще всего упоминают капли воды и кристаллы льда, гидраты хлористого железа, хлористый аммоний, галоидные соединения ртути и даже пыль.

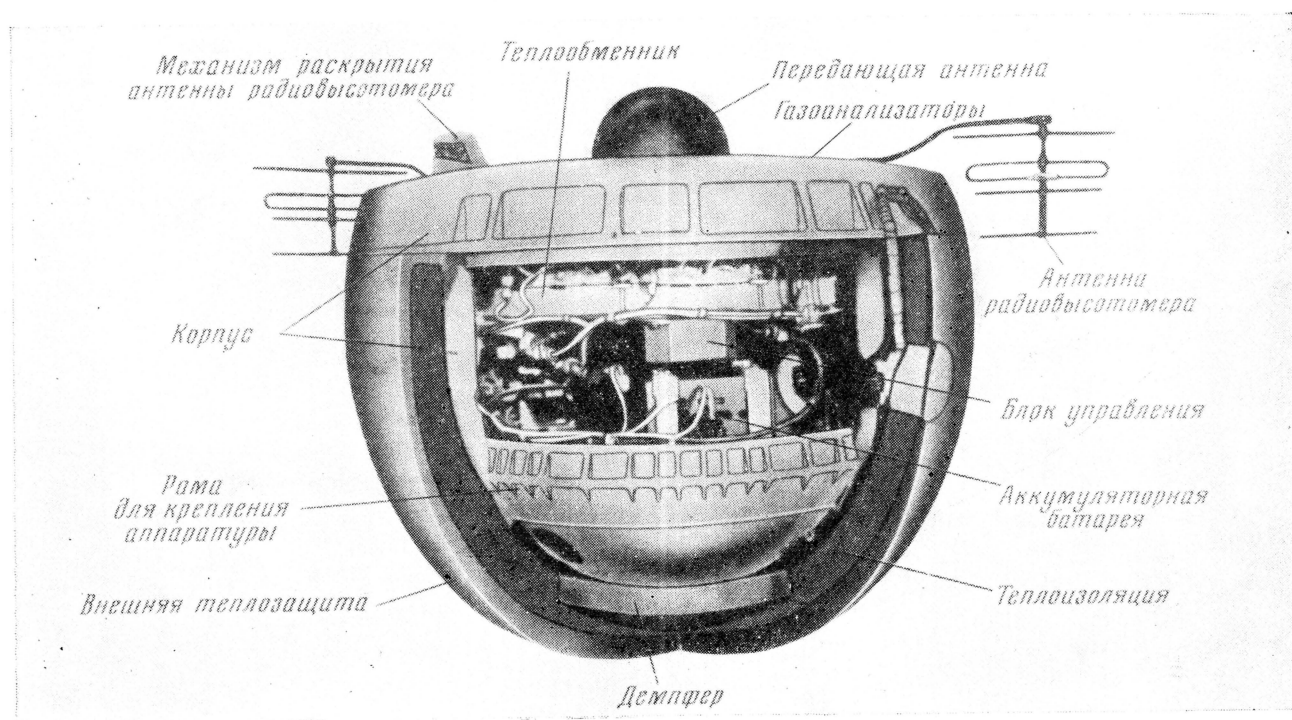
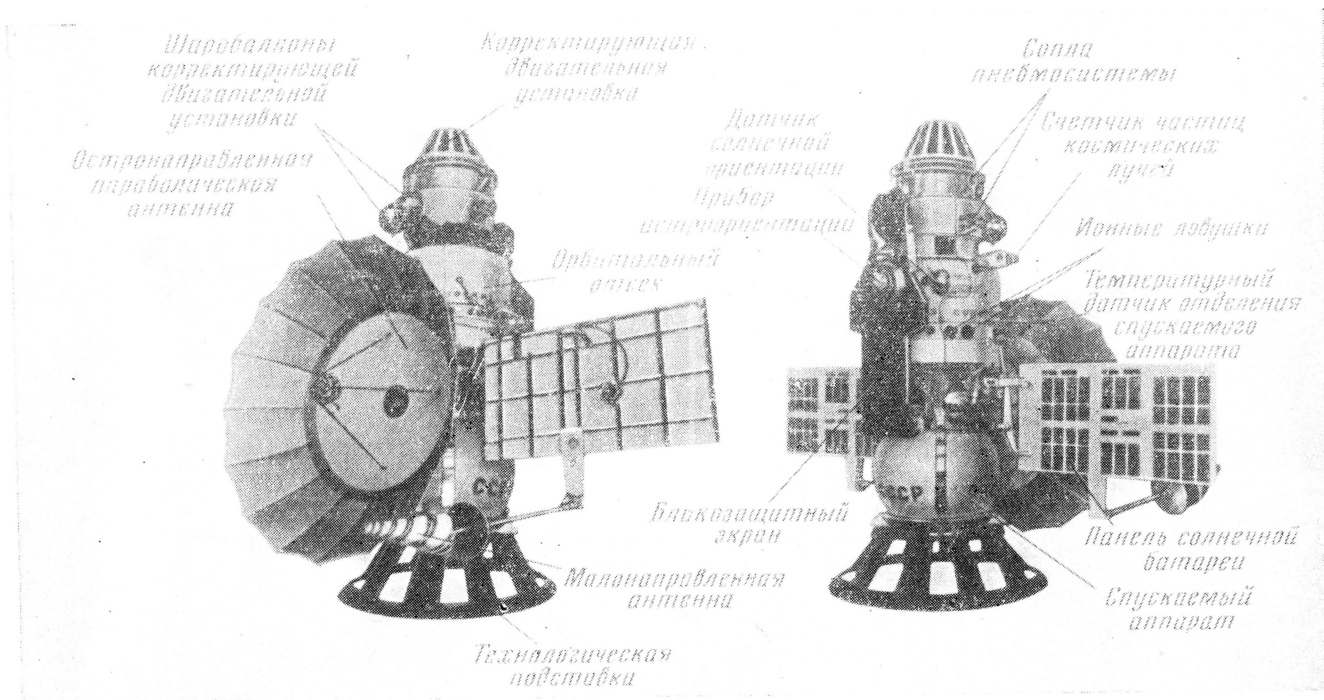
Наибольшее внимание привлекла, естественно, водная модель. Она предполагает, что облака Венеры состоят из воды в капельном или замерзшем состоянии. Поначалу спектроскопические измерения поддержали эту гипотезу. Однако результаты последующих наземных спектроскопических и поляризационных наблюдений вызвали некоторые возражения. И все же, результаты прямых измерений дают основания предполагать хотя бы в качестве одного из компонентов венерианских облаков конденсированную или сублимированную воду. Конденсация паров воды должна происходить вблизи уровня 60 км, причем мощность облачного слоя более 10 км. По содержанию

влаги венерианские облака, очевидно, похожи на мощные кучевые облака земного типа. На нижней границе облаков возможно выпадение осадков. Падая, капли испаряются (температура кипения воды в атмосфере Венеры соответствует давлению 5 атм), и водяной пар поднимается к облакам. Высокая температура исключает существование на поверхности планеты водоемов, следовательно, не может быть и круговорота воды, наблюдаемого на Земле. Поэтому концентрация водяных паров в приповерхностных слоях атмосферы значительно ниже.

Гипотезу облачного слоя водного типа нелегко привести в соответствие с итогами наземных наблюдений. Отсутствие полос поглощения льда в инфракрасных спектрах Венеры, резкое уменьшение коэффициента в ультрафиолетовой части спектра и, наконец, результаты поляризационных измерений не согласуются с чисто водной моделью облачного слоя.

До последнего времени трудно было убедительно объяснить и некоторые экспериментальные данные, например измерения плотности атмосферы планеты прибором ионизационного типа, установленным на «Венере-4». Как известно, в этом эксперименте зарегистрировано немонотонное изменение плотности атмосферы в диапазоне давлений 2—7 атм. Одной из возможных причин подобной аномалии считали некий фазовый переход на высоте около 50 км над средним уровнем поверхности Венеры. Но фазовый переход воды здесь исключается, он должен быть на более высоком уровне.

Возможность фазового перехода на





высоте 50 км подтверждается и другими данными прямых измерений. Так, например, коэффициент рефракции радиоволн, по результатам измерений станций «Венера-4, -5 и -6», изменяется на уровне, где давление атмосферы составляет около 1,5 атм. Аналогичный результат был получен в 1967 году во время эксперимента, предпринятого на американском космическом аппарате «Маринер-5». Оказалось, что ослабление сигнала близ горизонта 50 км, наблюдавшееся при радиозондировании атмосферы Венеры «Маринером-5», превышает расчетное значение для атмосферы, состоящей из смеси углекислого газа и азота. Необходима дополнительная составляющая, которая гасит радиоизлучение на уровне 50 км. Присутствием воды этот эффект объяснить нельзя — ее потребовалось бы слишком много!

АЗОТ В АТМОСФЕРЕ ВЕНЕРЫ

Возможное объяснение непонятным явлениям дает поведение атмосферного азота. Источник азота — аммиак, очевидно, как и на Земле, дегазировался в результате вулканической деятельности. Однако он активно окисляется, что, по-видимому, происходило и на Земле после появления кислорода — продукта фотосинтеза.

■
Автоматическая межпланетная станция «Венера»

■
Спускаемый аппарат станции «Венера»

В атмосфере Венеры кислорода мало. Он как активный компонент взаимодействовал с поверхностными породами и сохранился в атмосфере лишь в незначительных количествах. Поэтому азот там может частично находиться в связанном состоянии, например в виде аммиака.

Для проверки этого предположения на автоматической станции «Венера-8» был поставлен эксперимент по определению содержания атмосферного аммиака в атмосфере, на высотах, где давление составляло 2—8 атм. Приборы зарегистрировали аммиак в количестве 0,1—0,01%. Этот результат, подтвержденный другими измерениями (прямыми и наземными), позволил по-иному рассмотреть проблему облачного слоя планеты.

Аммиак легко вступает в реакцию с углекислотой и водой, образуя ряд соединений, — белые кристаллические вещества, которые легко растворяются в воде и возгоняются при повышении температуры. Взаимодействуя с другими газами, аммиак дает хлорид, фторид, сульфат и другие соединения аммония. В атмосфере Венеры они должны разлагаться на высоте около 50 км от поверхности. Ниже, видимо, присутствуют теплостойкие аммонийные соединения. Результаты измерений, проведенных в атмосфере Венеры, показывают, что нижняя граница образования хлорида аммония находится на высоте 30—40 км. Впрочем, хлорид, сульфаты аммония и некоторые другие соединения могут находиться еще ниже, поскольку они выделяются в атмосферу как продукты вулканических выбросов.

Данные прямых измерений содержания паров воды позволяют допу-

стить, что на уровне 60 км образуется составляющая водного типа, скорее всего, льда. По-видимому, все перечисленные компоненты в верхних слоях атмосферы не пребывают раздельно, а образуют смесь аммонийных солей со льдом. На уровне диссоциации аммонийных соединений возможно выпадение солей, последующее их разложение под действием высокой температуры и диффузия паров воды и аммиака к облачному слою.

Аммонийная модель облачного слоя Венеры не противоречит результатам наземных наблюдений. При существующей температуре верхней границы облаков равновесное давление аммиака над твердыми аммонийными солями значительно ниже порога чувствительности наземных средств наблюдения, коэффициент преломления кристаллов соединений аммония соответствует данным поляризационных наблюдений, а значение альбедо однократного рассеяния больше 0,7.

Мы рассмотрели только небольшую по высоте область атмосферы Венеры и показали возможность образования и существования трехслойных многокомпонентных облаков. Вероятно, на уровне верхней границы облачного слоя присутствуют и другие компоненты (например, гидрат углекислоты). Не исключено, что у поверхности планеты есть «конденсат». Все эти проблемы могут быть решены только в ходе дальнейших исследований Венеры.



Член-корреспондент АН СССР
К. Я. КОНДРАТЬЕВ

Человек и окружающая среда — наблюдения из космоса

Население земного шара быстро увеличивается, а природные ресурсы в некоторых странах уменьшаются и даже истощаются. В результате хозяйственной деятельности загрязняется атмосфера и гидросфера. Специалисты разрабатывают математические модели развития человеческого общества, пытаются найти активные способы для защиты природы. Человечество должно быть готово согласованно бороться с опасным загрязнением окружающей среды.

К сожалению, пока нет необходимых данных о состоянии природных ресурсов, а потому прогноз об их изменении в будущем подчас оказывается лишенным доказательств.

Сейчас наиболее эффективные сведения о состоянии окружающей среды в планетарных масштабах и о глобальных природных ресурсах могут принести лишь искусственные спутники Земли. За последние несколько лет в развитии космических исследований все более отчетливо обозначается крутой поворот к проблемам, связанным с использованием космической техники. Этот поворот в значительной степени вызван всеобщей озабоченностью ученых изменениями экологической обстановки в отдельных районах земного шара и даже на планете в целом, происходящих под влиянием хозяйственной деятельности человека. Несомненно, приобретают большое значение проблемы исследований природных ресурсов в масштабах отдельных регионов и всей планеты (в особенности ресурсов Мирового океана). («Земля и Вселенная», № 6, 1973 г., стр. 2—10.— Прим. ред.).

Дальнейшее развитие авиации и

За годы, прошедшие со времени запуска первого искусственного спутника Земли, космонавтика превратилась в полноправную отрасль народного хозяйства. Стало привычным использование спутниковой информации для метеорологии, картографии, геодезии. На очереди — исследование природных ресурсов из космоса.

мореплавания требует непрерывно возрастающей и все более надежной информации об атмосфере и океане. Жизненно необходимо изучать процессы и явления, происходящие на обширных территориях, исследовать многие явления в их динамике, поэтому обычные методы наземных или самолетных съемок уже не в состоянии обеспечить достаточным материалом. Первостепенное значение приобретают методы дистанционной индикации параметров окружающей среды и природных ресурсов с космических аппаратов.

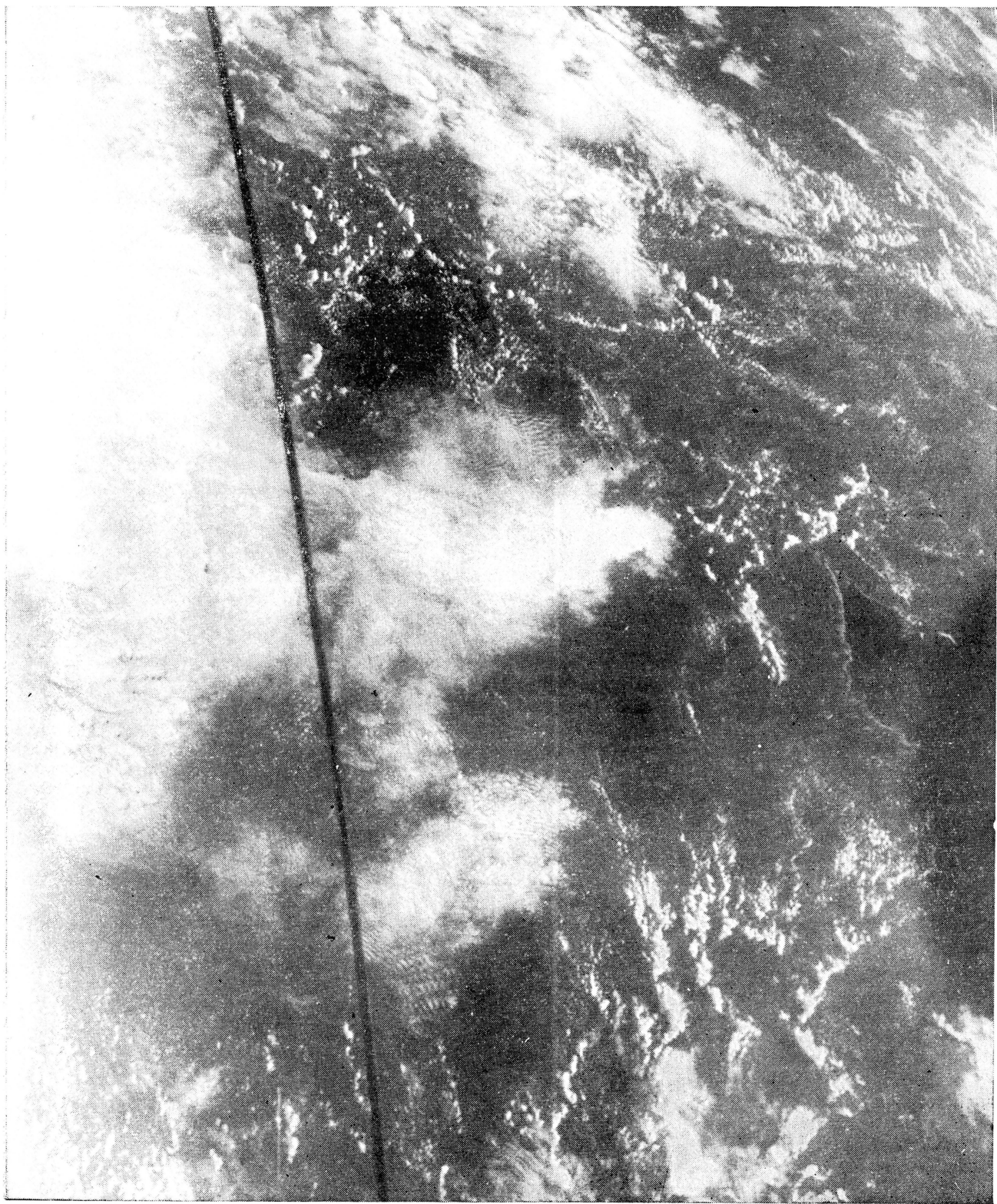
КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ — НАУКАМ О ЗЕМЛЕ

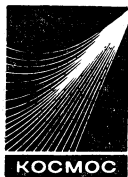
Космическая дистанционная индикация выгодно отличается от других методов изучения окружающей среды. Прежде всего, она обеспечивает возможность глобального охвата территории, причем делается это быстро, оперативно. Если необходимо, аппаратура спутника повторит наблюдения. Исключительное значение космической дистанционной индикации заключено не только в том, что добы-

вается качественно новая информация о статике явлений, которая не может быть получена никакими другими методами (например, макроструктура облачных образований или планетарные тектонические структуры). Еще более важно другое: исследователи могут располагать оперативными данными о динамике явлений, включая быстро происходящие и катастрофические. Значит, наши знания об окружающей среде существенно расширяются. Развитие нового научного направления — дистанционной индикации окружающей среды из космоса (космической экологии) позволит получить более надежные сведения о многих глобальных особенностях строения Земли, ее природных ресурсах, гораздо полнее, чем прежде, следить за ходом природных процессов.

В течение последнего десятилетия в СССР ведутся систематические экспериментальные и теоретические исследования в области дистанционной индикации. При этом используются как обычные методы наземных самолетных и аэростатных наблюдений, так и космическая техника (метеорологические спутники, автоматические межпланетные станции, пилотируемые космические корабли, пилотируемые орбитальные станции). Имеются данные, относящиеся к геологии, географии, геоморфологии, биологии, климатологии и физике атмосферы, почвоведению, океанологии, сельскому и лесному хозяйству и другим.

■
Облачные образования, сфотографированные экипажем космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5»





Применяемые методы дистанционной индикации предусматривают получение изображений Земли в разных масштабах (от глобальных до локальных) и в различных участках электромагнитного спектра. Используются результаты измерений спектральной поглощательной и отражательной способности, инфракрасного и микроволнового теплового излучения природных образований. Важным источником информации стали визуальные наблюдения из космоса.

В СССР и США развитие дистанционной индикации началось с использования спутников в интересах службы погоды. Метеорологические спутники были прототипом при разработке космических аппаратов, предназначенных для изучения окружающей среды и природных ресурсов.

Советские ученые внесли важный вклад в разработку методов космической дистанционной индикации и основ нового научного направления — **космического земледования**. Выполненные работы показали, что научные и прикладные задачи космического земледования решаются успешно и эффективно, если применяют пилотируемые космические аппараты, позволяющие совмещать визуальные, фотографические, спектрофотометрические и прочие методы дистанционной индикации.

Каждый метод дистанционной космической индикации различных параметров окружающей среды предусматривает контрольные наземные и самолетные измерения этих параметров на **ключевых участках**, специально выбранных типичных участках суши и моря. Во время полета пилотируемого космического корабля «Со-

юз-7» (октябрь 1969 года) в СССР впервые осуществлены, а впоследствии успешно продолжены комплексные геофизические эксперименты на ключевых участках. Это был первый опыт выполнения синхронных программ наблюдений с участием пилотируемых космических кораблей, самолетов-лабораторий и наземных экспедиционных групп. Результаты экспериментов послужили основой для анализа информационного содержания дистанционной индикации. После анализа определили оптимальные комплексы данных, необходимых для решения различных конкретных задач.

Исследования из космоса характеристик земной поверхности (почва, растительный покров, геологические формации и прочее), а также Мирового океана (температура поверхности, волнение, загрязнение и другие) серьезно осложняются влиянием промежуточной толщи атмосферы, искажающей искомые характеристики поверхности. Значит, требуется определить «передаточную функцию атмосферы». Зная ее, можно исключить влияние толщи атмосферы. Обработка материалов комплексных экспериментов впервые позволила получить достаточно полные сведения о передаточной функции реальной земной атмосферы. Стало быть, теперь можно однозначно интерпретировать результаты съемки природных образований из космоса.

ОТ ПЕРВЫХ ОПЫТОВ — К УГЛУБЛЕННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

Выполненный советскими специалистами комплекс спектральных иссле-

дований атмосферы и природных образований открыл конкретные и широкие перспективы для использования методов наблюдений природной среды в глобальных масштабах.

Первостепенное значение приобретают электронные вычислительные машины. Они помогут распознавать и характеризовать природные образования по их спектрам. Регистрация спектров сумеречного ореола Земли выявила особенности запыленной атмосферы (содержание аэрозолей) на различных высотах и в разных районах земного шара. Специалисты могут проследить глобальную картину запыленности атмосферы. Пыль естественного происхождения (образовавшаяся, например, в результате воздействия ветра на грунт) вместе с индустриальными загрязнениями может быть одной из причин изменения климата. Напомним, что проблемы влияния запыленности на тепловой режим атмосфер Земли и Марса имеют много общего. Мы располагаем наглядными примерами, показывающими, к каким последствиям может привести значительная запыленность, поглощающая солнечную радиацию («Земля и Вселенная», № 5, 1973 г., стр. 17—20. — Прим. ред.).

Исследователь, регистрируя спектры отражения солнечной радиации природными образованиями (растительность, почва), различает и характеризует эти образования по их типичным особенностям отражения радиации. Но при этом ученые столкнулись с серьезным затруднением: имевшаяся ранее информация об оптических характеристиках естественных образований оказалась неоднозначной. Стало быть, изучение и ка-

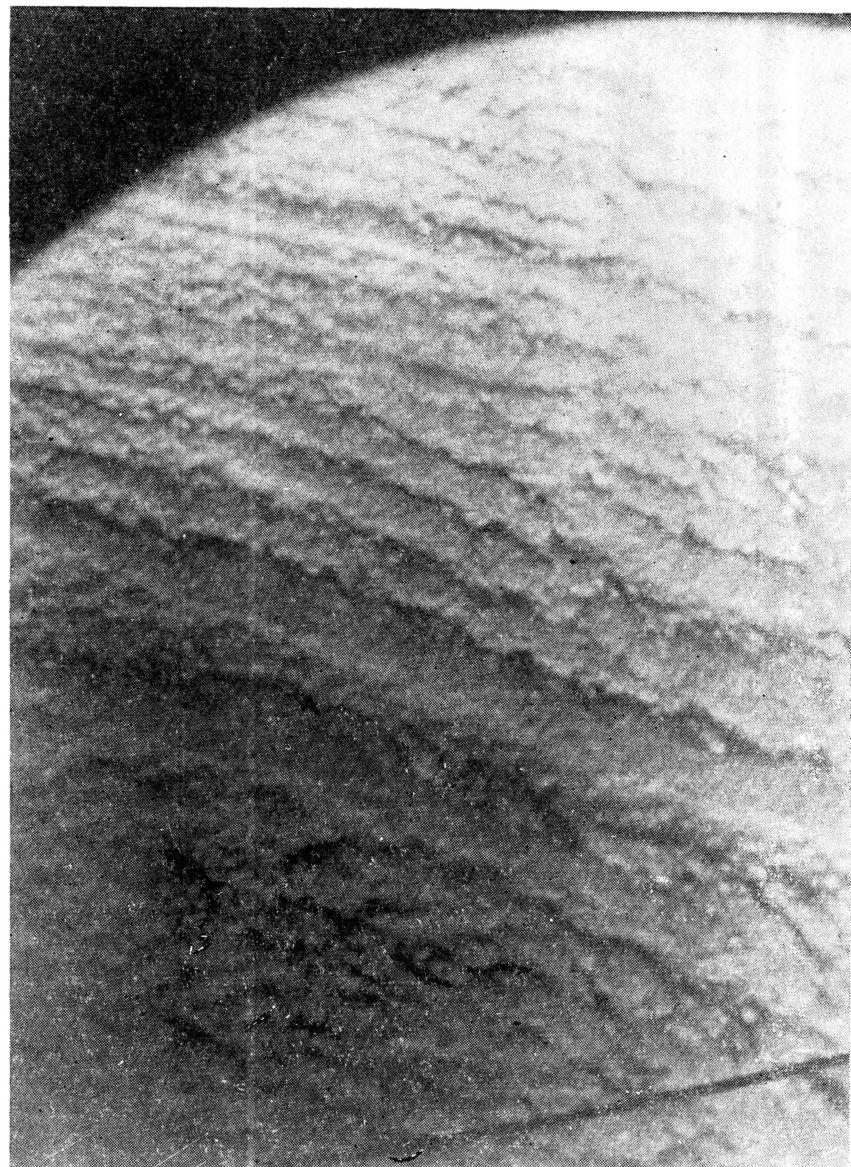
талогизация оптических характеристик природных образований становится неотложной задачей.

Много полезных сведений, имеющих народнохозяйственное значение, дает анализ материалов космической аэросъемки с различных высот (особенно при синхронности съемки). Многочисленные примеры разномасштабных геоботанической, геоморфологической, гидрологической и других фотосъемок из космоса доказывают их высокую научную и производственную эффективность для изучения окружающей среды и природных ресурсов.

Уже сейчас дистанционная космическая индикация в состоянии решить ряд важнейших практических задач, связанных с проблемами окружающей среды, геологии и геоморфологии, сельского и лесного хозяйства, гидрологии и океанологии, комплексных ландшафтных исследований. Итоги этих исследований были подведены во время 24-го Международного конгресса по астронавтике, проходившего с 7 по 13 октября 1973 года в Баку.

БОЛЬШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Дистанционная индикация занимает важное место среди прочих методов космических исследований. Но многие проблемы требуют дальнейшей разработки, в частности проблема информационного содержания данных, полученных дистанционной индикацией со спутников. Необходимо углубленный анализ объективности и информативности визуальных наблюдений. Следует продолжить сравнение изображений различных масштабов. Большого внимания заслуживают по-



лучение и анализ многоспектральных изображений и оптимальный выбор спектральных каналов. Недостаточно используются возможности метеоро-

логической интерпретации спутниковой метеорологической информации. Многое предстоит сделать. Но прежде всего следует уверенно интерпретировать фотографический материал и особенно данные сканирующих многоканальных телефотометров, которые дают количественные характеристики, о чем свидетельствует опыт обработки сведений со спутника природных ресурсов ERTS I.

■
Облачные гряды, сфотографированные через иллюминатор во время полета экспериментальной орбитальной станции космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5»



ПОЛЯРНЫЕ ШАПКИ И ПЫЛЕВЫЕ БУРИ НА МАРСЕ

Хотя единого мнения о природе полярных шапок Марса все еще нет, большинство астрономов склонны считать, что шапки состоят из обычного снега и замерзшей углекислоты. Какова толщина снежного покрова шапок? Согласно расчетам сотрудника Горьковского радиофизического института В. И. Алешина, максимальная толщина снежного покрова в районе Северного полюса Марса эквивалентна 94 г воды на 1 см². На Южном полюсе эта величина несколько меньше — 86 г/см², но снега в южной полярной шапке накапливается больше, чем в северной, ибо зима в южном полушарии Марса продолжительнее. Максимальное количество снега в южной полярной шапке составляет $3,5 \cdot 10^{18}$ г, в северной — $2,5 \cdot 10^{18}$ г.

Количество снега в марсианских шапках год от года не меняется, так как система «полярные шапки — атмосфера» находится в равновесии. Среднее давление в атмосфере планеты около 6,1 мбар. Однако на протяжении года атмосферное давление, вследствие конденсации углекислого газа в полярных шапках, испытывает колебания примерно на 0,75 мбар. Как показывают расчеты В. И. Алешина, дважды в год атмосферное давление на Марсе достигает максимального значения. Особенно быстро давление возрастает, когда планета проходит вблизи перигелия. В это время идет интенсивное испарение южной полярной шапки. Конденсация углекислого газа в полярных шапках вызывает перемещение воздушных масс из одного полушария в другое. Средняя скорость движения воздушных масс может увеличиться до 80 м/сек. Такой сильный ветер способен поднять в атмосферу огромное количество пыли. Поэтому, по мнению автора, прохождение Марса через перигелий и сопровождается глобальными пылевыми бурями.

«Астрономический журнал», 50, 5, 1973.

Надо развивать методы пассивной и активной радиолокации для дистанционного зондирования атмосферы и определения различных характеристик подстилающей поверхности (весьма успешным был опыт интерпретации данных со спутников «Космос-243» и «Нимбус-5», а также советско-американской экспедиции «Беринг»).

В связи с проблемой воздействия человека на климат интересна спектрофотометрия сумеречного и дневного горизонтов с целью исследований планетарного распределения атмосферного аэрозоля.

Для изучения состава стратосферы и мезосферы (в первую очередь, для определения содержания водяного пара, озона и окислов азота) весьма перспективно применение инфракрасного спектрометра, регистрирующего спектры Солнца при восходах и заходах относительно спутника.

Длительные измерения солнечной постоянной и внеатмосферного распределения энергии в спектре Солнца представят ценные сведения о природе воздействия солнечной активности на погоду.

Для изучения возможностей дистанционной индикации очень важен анализ спектров подстилающей поверхности в коротковолновом диапазоне длин волн.

Поскольку почти все упомянутые выше задачи являются некорректными, т. е. они не имеют однозначного решения, принципиально важное значение для разработки надежных методов интерпретации данных приобретают совмещенные подспутниковые эксперименты, выполненные на ключевых участках. Подспутниковые эксперименты проводятся для син-

хронных наземных обследований и самолетных измерений по соответствующей программе. («Земля и Вселенная», № 6, 1971 г., стр. 2—7.— Прим. ред.)

Далека еще от достаточно полного решения задача автоматического (на электронно-вычислительной машине) распознавания и количественной характеристики природных объектов.

При дальнейшем использовании космической техники для изучения окружающей среды и природных ресурсов необходимо определить роль и место различных видов космических летательных аппаратов, детально сопоставить возможности пилотируемых орбитальных станций и автоматических спутников, рассмотреть перспективы использования Луны как платформы для дистанционной индикации параметров Земли и ее атмосферы. Больших усилий потребует создание новой аппаратуры. Космическая дистанционная индикация находится еще в стадии поисковых работ. Исключительно важно координировать усилия, прилагаемые различными странами для развития методов дистанционной индикации. Исследования, которые проводят Советский Союз (пилотируемый космический корабль «Союз», пилотируемые орбитальные станции «Салют», широкое использование спутников Земли), США (спутник природных ресурсов ERTS I, орбитальная станция «Скайлэб») и другие страны определяют перспективные пути развития новой отрасли космических исследований и создают конструктивную основу для активного международного сотрудничества.

Д. Ю. ГОЛЬДОВСКИЙ



Спутник ERTS I для исследования природных ресурсов

ERTS I — американский автоматический космический объект, специально разработанный для исследования ресурсов Земли. Этот спутник, выведенный на орбиту 28 июля 1972 года, экспериментальный. Он предназначен не столько для получения конкретных результатов, которые можно было бы немедленно использовать, сколько для выяснения его принципиальных возможностей. Само название спутника (ERTS I — Earth Resources Test Satellite) означает «экспериментальный спутник для земных ресурсов». ERTS I выполняет две главные задачи: съемку поверхности Земли в видимых и инфракрасных лучах, а также ретрансляцию данных от наземных автоматических наблюдательных станций — «платформ». Высота спутника 3 м, наибольший поперечный размер 1,5 м и вес 891 кг. Он состоит из двух блоков, соединенных ажурной конструкцией. В одном из блоков расположены служебные системы, в другом — научная аппаратура. К первому блоку крепятся две панели солнечных батарей, их размах 3,36 м. Для съемки поверхности Земли на спутнике установлен комплект из трех идентичных кадровых телевизионных камер, а также сканирующая телевизионная камера.

Кадровые камеры производят съемку в трех спектральных диапазонах: 0,475—0,575 мк (сине-зеленая часть спектра), 0,580—0,680 мк (красная) и 0,690—0,830 мк (ближняя инфракрасная часть спектра). При съемке с орбиты высотой 900 км эти камеры обеспечивают разрешение на поверхности Земли примерно 50 м, в кадр попадает квадратный участок, сторона которого равна 185 км.

Сканирующая телевизионная камера снимает в четырех спектральных диапазонах: 0,5—0,6; 0,6—0,7; 0,7—0,8; 0,8—1,1 мк. Расчетное разрешение на поверхности Земли 70 м. Камера «просматривает» полосу земной поверхности шириной 185 км.

СЛУЖЕБНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Спутник имеет трехосную систему ориентации, обеспечивающую очень точное наведение телевизионных камер на заданный район Земли. Это важно и для последующей геодезической привязки снимков, без чего невозможна их интерпретация и использование.

В системе электропитания применяются солнечные элементы, обеспечивающие общую мощность 512 вт. Для терморегулирования служат жалюзи и специальные покрытия.

От камер спутника поступает много информации. Всю ее передать на Землю в темпе приема (или, как еще говорят, «в реальном масштабе времени») нельзя — зоны видимости наземных станций слежения довольно ограничены. Поэтому на спутнике установили два устройства для видеозаписи, каждое из которых может вести непрерывную запись изображений от всех камер в течение 30 минут. Записанная видеоинформация воспроизводится при входе спутника в зону видимости наземных станций. Тогда же на Землю передаются результаты измерений, принятые спутником от наземных наблюдательных станций.

На спутнике предусмотрено также программно-временное устройство. С Земли в это устройство вводятся команды (их называют «уставки») на проведение съемки или прием ин-

формации от «платформ» в тот момент, когда спутник окажется над интересующим районом. Это позволяет выдавать спутнику задание на несколько витков вперед.

ОРБИТА

Спутник ERTS I выведен на почти круговую орбиту примерно 900 км с наклоном 99°. Высота орбиты определяется задачами спутника. Если бы он предназначался только для съемки, то наиболее предпочтительна низкая (приблизительно 300 км) орбита. Ведь чем она ниже, тем больше разрешение съемочных камер. Если бы он предназначался только для сбора данных от наземных станций, то орбита должна быть более высокой. Но спутник ERTS I выполняет комплекс задач, среди которых — и сбор данных. И тогда, как своего рода компромисс, удовлетворяющий в разумных пределах всем требованиям, выбирается орбита высотой 900 км. Орбита круговая, чтобы легче было управлять бортовой аппаратурой и обрабатывать результаты испытаний, иначе пришлось бы постоянно вносить поправки на изменение высоты полета. Наклонение орбиты спутника ERTS I характерно для солнечно-синхронной орбиты, на которой угловое смещение относительно Земли (прецессия) составляет примерно 1° в сутки и равно угловому движению Земли вокруг Солнца. Орбита как бы поворачивается вслед за Солнцем, движется синхронно с ним. Отсюда и название солнечно-синхронная. Обращаясь по ней, спутник обеспечивает многократную съемку одних и тех же районов Земли при одинаковом угле возвышения

Солнца. И тогда, сравнивая снимки определенного района, сделанные через некоторый интервал времени, можно не опасаться, что замеченные изменения лишь кажущиеся, объясняемые разными условиями солнечного освещения.

НАЗЕМНЫЕ СРЕДСТВА

Большой объем информации, передаваемой со спутников для исследования природных ресурсов, заставляет предъявлять повышенные требования не только к бортовым системам, но (и это главное) к наземным средствам. Если бы они оказались неэффективными, то вся система могла бы «захлебнуться» собственной информацией.

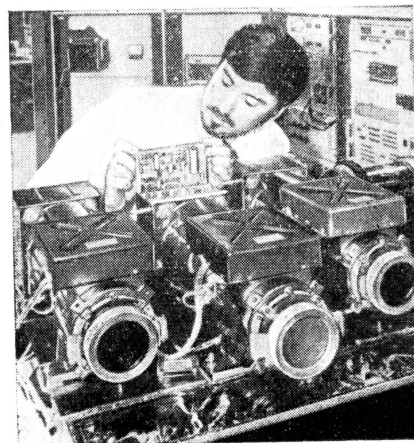
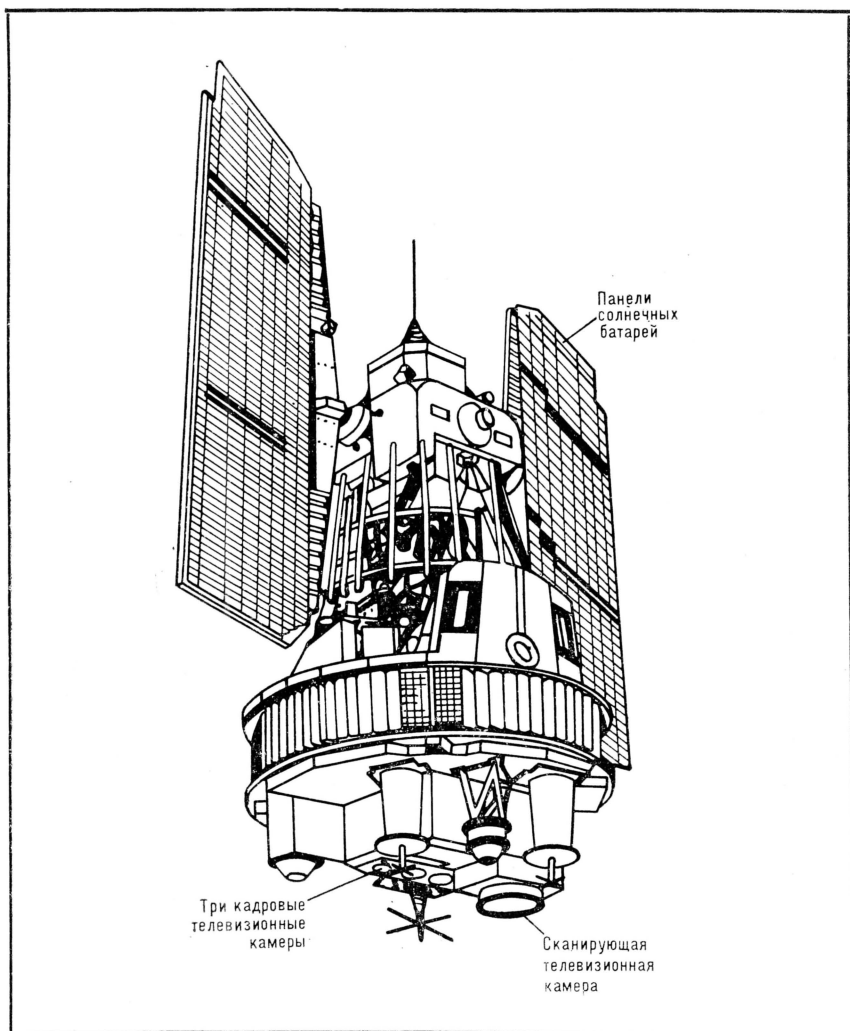
В наземные средства входят, прежде всего, станции слежения. На них вся принятая от спутника ERTS I информация записывается на магнитную ленту, которая немедленно доставляется в центр обработки данных. Кроме того, станции принимают телеметрическую информацию о работе бортовых систем спутника, выполняют траекторные измерения и подают на борт команды для проведения съемки, включение или выключение служебных систем. Работой станции руководит центр управления.

Центр обработки данных — самое важное звено в спутниковой системе. Туда поступают магнитные ленты со всех станций слежения. Информацию сначала подвергают первичной обработке. Эта форма обработки предусматривает ликвидацию наиболее грубых искажений, вызванных систематической ошибкой приборов и другими причинами, а также составление

«аннотаций». Последние необходимы как при последующей выборочной обработке, так и для практического использования видеоинформации, прошедшей только первичную обработку. Аннотация содержит сведения о времени наблюдения, применявшемся

■
Спутник ERTS I для исследования природных ресурсов

■
Проверка комплекта кадровых телевизионных камер



приборе и режиме его работы, а также параметры орбиты спутника и направление его движения, приближенные координаты исследованного района. После коррекции и аннотирования видеоинформация, записанная на магнитной ленте, преобразуется в снимки или же в форму, пригодную для ввода в вычислительную машину.

Выборочной обработке подвергается лишь часть информации в расчете на потребителей, которых не удовлетворяет только первичная обработка. На этом этапе ликвидируются тонкие искажения и осуществляется более точная геодезическая привязка.

При центре обработки данных организована своеобразная библиотека, где скапливается информация, полученная от спутника ERTS I. Только вместо книг здесь магнитные ленты и снимки. По заявке потребителей специальная поисковая система пересматривает весь массив информации и выбирает, например, снимки определенного района в заданное время года. Такая библиотека станет настоящей сокровищницей, особенно когда в ней накопятся сведения за много лет.

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СПУТНИКА

Судьба спутника ERTS I сложилась не очень счастливо. В первые же дни работы вышли из строя кадровые камеры и одно из двух устройств видеозаписи. В апреле 1973 года возникли неполадки и во втором устройстве, которое практически бездействует. Сейчас работает лишь сканирующая телевизионная камера, а видеоинформацию приходится переда-



вать только в реальном масштабе времени, то есть в те периоды, когда спутник проходит зоны видимости четырех специально оборудованных наземных станций. Несмотря на все неполадки, ученые довольны итогами эксплуатации спутника.

Прежде всего, продемонстрированы весьма широкие возможности спутниковых систем для исследования природных ресурсов. Спутник позволяет получать видеоинформацию, или просто недоступную для наземных средств и самолетов, или имеющую качественно больший охват и существенно меньшие искажения, например, четырех изображений, переданных спутником ERTS I, оказывается, достаточно там, где требовалось 300 аэрофотоснимков. Что же касается ретрансляции данных измерений, выполненных наземными станциями, здесь спутники вообще вне конкуренции.

Помимо итогов принципиального ха-

рактера отмечается ряд весьма конкретных достижений, которые имеют непосредственное практическое значение уже в настоящее время. За год спутник отснял три четверти поверхности суши земного шара. Территория США (без Аляски и Гавайских островов) снята несколько раз.

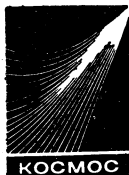
Наблюдения со спутника показали, что некоторые реки в амазонских джунглях нанесены на карту с ошибкой до 30 км. Там же, в бассейне Амазонки, обнаружены неизвестные ранее сухие русла, которые представляют интерес для поисков золота. Снимки долины Амазонки выявили нерациональную трассировку существующего шоссе вдоль реки.

В первое время центр обработки данных не справлялся с лавиной информации, поступающей от спутника ERTS I. Результаты доставлялись потребителям с задержкой. Но по мере накопления опыта работа наладилась.

У НАСА не оказалось средств, чтобы запустить второй спутник ERTS в 1973 году, как это предполагалось. Вероятно, спутник ERTS II будет выведен на орбиту не ранее 1976 года.



Центр обработки информации



Кандидат технических наук
В. Б. СОКОЛОВ

Спасательные операции в космосе

АВАРИЯ — ПОЧЕМУ?

Никогда нельзя наверняка и полностью исключить возможность аварийной ситуации на борту космического корабля. И в этом нет ничего необычного, поскольку мы живем в мире, где каждому событию отвечает определенная вероятность отказа его осуществления. Можно довести вероятность отказа какой-либо системы до одной десятой, сотой, тысячной доли процента, но никогда нельзя сказать, что она составляет нуль. Представьте себе несколько десятков систем, состоящих из десятков, сотен или даже тысяч элементов. Ясно, что выход из строя всего комплекса систем, вследствие отказа хотя бы одного из элементов, вполне вероятен. Именно так обстоит дело с космическим кораблем. Выход из строя элемента двигательной установки, системы управления и ориентации, энергетической установки, системы жизнеобеспечения и прочих систем может породить ситуацию, в которой не только успех операции, но и жизнь космонавтов окажется под угрозой. История космических полетов знает примеры таких происшествий («Джеминай-8», «Аполлон-13», «Салют» и другие).

Человека в космосе подстерегают и другие опасности — столкновение корабля с крупной метеорной частицей, непредвиденное повышение уровня радиации, внезапное заболевание или просто ошибка космонавта при управлении кораблем.

Может быть, не летать? Это самый простой выход из положения, который время от времени предлагался и предлагается. Но если не летать, зна-

Космические полеты становятся трудовыми буднями. Однако за каждой секундой этих будней стоит нелегкий и опасный труд космонавтов. Какие неожиданности подстерегают людей в космическом пространстве? Как спасти экипаж, если авария на борту корабля уже произошла?

чит остановиться совсем. Ведь любая деятельность человека в той или иной степени связана с риском.

Ну, хорошо. А почему бы не создать сверхнадежный космический корабль? Многократно задублировать все его системы, снабдить тройным запасом топлива, кислорода, продуктов, увеличить во много раз толщину обшивки. Но такой корабль получится настолько тяжелым, что не сможет взлететь...

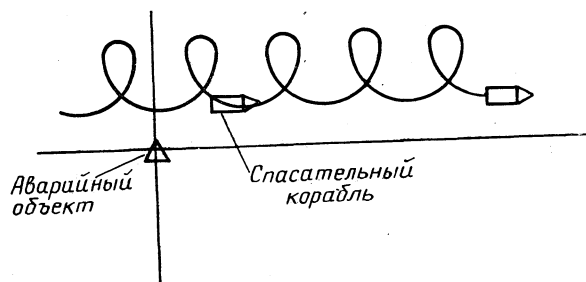
Итак, в космических полетах определенная вероятность аварийной ситуации всегда сохранится, несмотря на то, что наиболее важные системы корабля имеют двойное или тройное резервирование и космические экипажи отбираются тщательно и жестко.

СПАСАТЕЛЬНЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ КОРАБЛЬ

Для спасения космонавтов можно использовать и «обычную» ракетно-космическую систему, которая должна выйти на орбиту аварийного корабля, встретиться с ним, состыковаться и принять терпящий бедствие экипаж на борт. Чтобы спасти экипаж пострадавшего космического объекта — корабля или орбитальной стан-

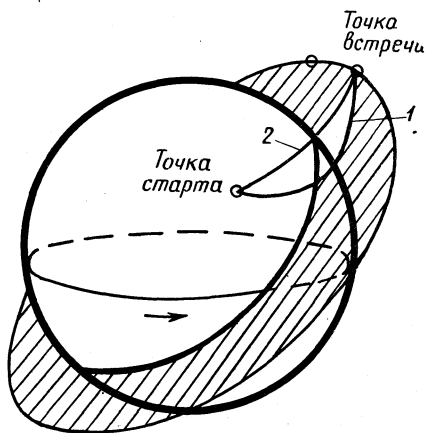
ции, необходимо прежде всего выполнить операцию встречи. Эта операция неплохо отработана («Земля и Вселенная», № 3, 1972 г., стр. 14—19.— Прим. ред.). Однако встреча для спасения отличается некоторыми особенностями, которые предъявляют довольно строгие требования к спасательному космическому кораблю.

Прежде всего, с пострадавшим космическим объектом надо, очевидно, встретиться как можно быстрее. Чем меньше времени потребуется на вывод спасательного корабля, тем большими должны быть его энергетические возможности, то есть мощность двигательной установки и запас топлива на борту. У существующих ракетно-космических систем энергетические возможности таковы, что для встречи с каким-либо космическим объектом приходится ждать, пока точка старта в процессе вращения Земли не пройдет через плоскость орбиты этого объекта. Если корабль стартует в другое время, то просто не хватит топлива на последующий поворот плоскости орбиты корабля, которая должна совпасть с заданной плоскостью. Стартовать можно дважды в сутки — через 12 часов. Однако далеко не достаточно выйти на орбиту аварийного космического корабля, нужно еще оказаться в том месте орбиты, где он находится. Придется либо довольно долго ждать на Земле подходящего момента, либо тратить топливо на «маневр фазирования» (совмещение положений). Отсюда ясно, что существующие ракетно-космические системы помогут лишь в тех случаях, когда время терпит, даже если спасательный корабль полностью готов к старту.



Не исключено, что пострадавший космический объект окажется в таком состоянии, что о взаимодействии со спасательным кораблем не может быть и речи. Тогда для определения относительного положения и скорости, необходимых при управлении маневром, спасатели не сумеют использовать «ответное» оборудование спасаемого корабля (радиоответчики, лампы-вспышки и прочее). Спасателям придется рассчитывать лишь на свое «активное» бортовое оборудование, излучающее и принимающее сигналы. Активные навигационные системы обладают меньшим радиусом действия по сравнению с аппаратурой, рассчитанной на прием сигналов, усиленных ответным оборудованием спасаемого корабля. Наземные станции сопровождения могут помочь спасательному кораблю подойти к аварийному так близко, что спасатели своими бортовыми навигационными средствами обнаружат терпящий бедствие корабль. А если встреча произошла над теми районами Земли, где нет станций сопровождения, нечего ждать помощи и от наземных средств.

Существует множество проблем, которые придется решать при спасении. Например, на аварийном корабле выйдет из строя система ориентации. Он станет вращаться, а это затруднит или полностью исключит возможность стыковки с ним. Встреча и стыковка осложняются также самопроизвольным включением маршевой двигательной установки аварийного объекта, отказом стыковочного узла и так далее. В ряде случаев спасателям придется выйти в открытый космос и перейти из корабля в корабль. Такой эксперимент провели экипажи



советских космических кораблей «Союз-4 и -5» («Земля и Вселенная», № 2, 1973 г., стр. 4.—Прим. ред.). Значительные трудности может представить причаливание спасательного корабля к аварийному объекту. Процесс причаливания занимает довольно много времени, так как для управления на этом этапе используются двигатели малой тяги, постепенно сво-

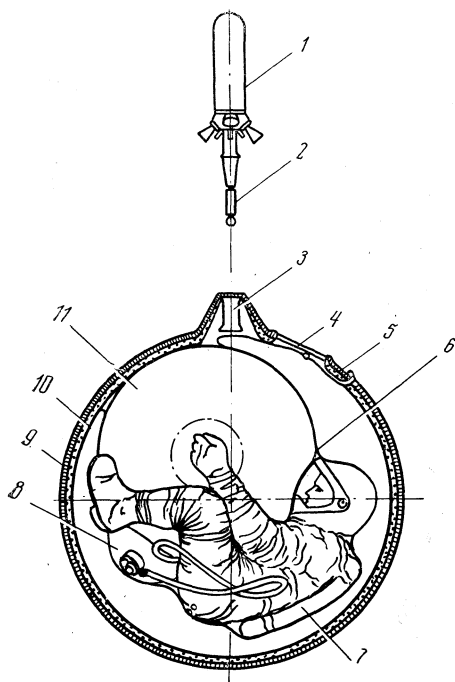
Траектория, по которой будет двигаться неуправляемый спасательный корабль относительно аварийного объекта

Способы выведения спасательного космического корабля: 1 — корабль ожидает на Земле, пока точка старта не окажется в плоскости орбиты аварийного объекта; 2 — спасательный корабль непосредственно выводится в точку встречи. Вся операция в этом случае занимает меньше времени, но потребует большое количество топлива для поворота плоскости орбиты

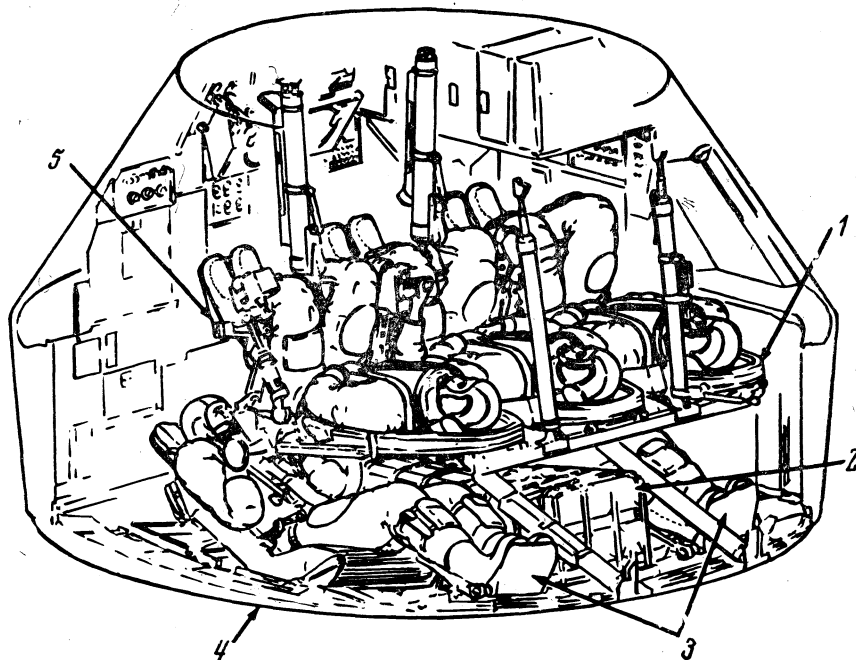
дящие и без того малую скорость сближения к нулю и медленно компенсирующие боковые отклонения. Чтобы уменьшить время причаливания, потребуются более мощные двигатели и, следовательно, большое искусство пилотирования. Если один корабль «зависнет» относительно другого, то есть не будет изменяться относительное положение кораблей, возникнут силы, стремящиеся «растаскать» корабли (в общем случае корабли движутся относительно друг друга по циклоиде, причем расстояние между ними постепенно увеличивается). Что это за силы? На каждый объект в космическом пространстве действует вектор гравитационной силы, направленный к притягивающему центру и обратно пропорциональный квадрату расстояния до него. Расстояния от каждого объекта (корабля) до центра притяжения различны, различны и направления на центр. Поэтому гравитационные силы, действующие на корабли, также неодинаковы. Разность этих сил, называемая относительной гравитационной силой, и «растаскивает» корабли в разные стороны. Значит, во время спасательной операции по крайней мере один космонавт должен заниматься исключительно управлением корабля даже после стыковки, поскольку состыкованный комплекс придется непрерывно стабилизировать.

ОРБИТАЛЬНЫЙ САМОЛЕТ

В качестве спасательного космического корабля заманчиво было бы использовать ракетно-космическую систему, способную выполнять аэродинамическое маневрирование. При-



мером такой системы может служить разрабатываемый в настоящее время в США транспортный космический корабль, или, как его еще называют, орбитальный самолет («Земля и Вселенная», № 5, 1972 г., стр. 17.— Прим. ред.). Вторая ступень орбитального самолета представляет собой аппарат, который при движении в атмосфере обладает контролируемой подъемной силой и может в значительной степени управлять своей траекторией (в отличие от баллистического аппарата, траектория которого predetermined начальными условиями). Эту возможность в американской системе предполагается использовать только для входа в атмосферу при возвращении на заданный аэродром. Конечно, во время спасательной операции требуется быстро доставить спасенных космонавтов на Землю. Однако гораздо важнее как можно раньше встретиться с пострадавшим кораблем, а в этом отношении американский орбитальный самолет не имеет достоинств по сравнению с существующими системами. Ведь при старте он поднимается вертикально вверх и выводится на орбиту по баллистической траектории почти без использо-



Проект спасательной надувной капсулы (США): 1 — тормозное устройство, 2 — хвостовик тормозного устройства, 3 — рукоятка, 4 — окно, 5 — застежка, 6 и 11 — внутренняя оболочка, 7 — парашют, 8 — баллон со сжатым кислородом, 9 — абляционное покрытие, 10 — внутреннее покрытие. Космонавт в скафандре размещается внутри ненадутой оболочки, застегивает ее и покидает корабль. Во время схода с орбиты космонавт включает запальный устройства для торможения и рукояткой придает ему нужное направление. По истечении расчетного времени космонавт отпускает рукоятку, устройство отбрасывается. На высоте 4,5 км космонавт расстегивает застежку, выбирается из оболочки и спускается на парашюте

Отсек экипажа основного блока корабля «Аполлон», переоборудованный для аварийной эвакуации космонавтов со станции «Скайлаб». Штатный трехместный блок переоборудуется в пятиместный: 1 — три основных кресла для космонавтов, 2 — контейнер для возвращаемой на Землю научной документации, 3 — два дополнительных кресла, 4 — диван, 5 — упор для ног

вания аэродинамической подъемной силы (по «траектории гравитационного поворота», когда траектория искривляется только за счет гравитационного ускорения). Для спасательных целей в большей степени подошел бы орбитальный самолет с разгонной ступенью самолетного типа и горизонтальным стартом. Такая ступень позволит стартовать сразу по сигналу бедствия, не дожидаясь, пока точка старта подойдет к плоскости орбиты аварийного объекта. Разгонная ступень доставит орбитальный самолет к заданной плоскости орбиты и войдет в эту плоскость, после чего ему уже не потребуется расходовать топливо на боковой маневр. Подобные проекты появлялись в печати, но их реализация требует разработки принципиально новых двигательных установок для разгонных ступеней, не говоря уже о сложных конструктивных проблемах.

Специальные средства орбитального спасения пока еще не созданы. Сейчас приходится рассчитывать на существующую технику. Однако и здесь имеется много проблем. Экспериментальный совместный полет «Союза» и «Аполлона» должен спо-



собствовать разрешению этих проблем. Проект совместного полета представляется первым реальным шагом на пути к созданию международной космической службы спасения.

ГЛОБАЛЬНАЯ СЛУЖБА СПАСЕНИЯ КОСМОНАВТОВ

Очевидно, со временем станет необходимой международная служба спасения космонавтов. В ее состав войдут специализированные спасательные космические корабли. Какие именно? Крылатые? Баллистические? С горизонтальным взлетом или вертикальным? Этого мы еще не знаем. Одно лишь ясно: такие спасательные корабли должны обладать большими энергетическими возможностями, чтобы в кратчайшее время встретиться с аварийным объектом. Навигационное оборудование с большим радиусом действия позволит вести автономный поиск и сопровождение аварийного объекта, даже если последний не ответит на сигналы.

Не исключено, что найдут применение небольшие межорбитальные транспортные аппараты, на которых спасательная команда быстро доберется до аварийного объекта, снимет экипаж и доставит его на спасательный корабль. Такие аппараты можно было бы размещать и на орбитальных станциях, которые превратятся в опорные пункты ближнего космоса. Одинаковая атмосфера в кабинах кораблей, стандартные стыковочные узлы, стандартное сигнальное оборудование и, возможно, конструкция космических скафандров значительно облегчат спасательные операции и повысят безопасность космических полетов.

УДИВИТЕЛЬНЫЕ ЗВЕЗДЫ-ДВОЙНИКИ

Уже давно астрономов интересует необычное поведение довольно яркой (в наши дни около 7-й звездной величины) звезды южного неба η в созвездии Киля. Ее наблюдал еще в 1677 году Э. Галлей как звезду 4-й величины. Есть свидетельства, что η Киля была на две величины ярче в 1729—1752 годах. Затем ее блеск снова ослаб и в самом начале XIX века составлял 4 звездные величины. В 1827 году звезда быстро достигла 1-й величины и, наконец, после некоторого ослабления вспыхнула в 1843 году до — 1-й величины, то есть была в то время второй по яркости звездой (после Сириуса) всего неба. На рубеже XIX и XX веков блеск η Киля уменьшился до 7,8 звездной величины. В XX веке наблюдались колебания блеска в основном между 6-й и 7-й звездными величинами.

Первая спектрограмма η Киля была получена в 1892 году. Звезда имела спектр поглощения, присущий сверхгигантам спектрального класса F 5, на фоне которого наблюдались лишь яркие линии водорода. В 1895 году вид спектра радикально изменился — появились многочисленные яркие линии, а спектр в целом стал характерным для звезд с обильной разреженной оболочкой. Дальнейшие спектральные наблюдения не показали каких-либо существенных изменений спектра вплоть до наших дней.

η Киля окружена туманностью, хорошо видимой в инфракрасных лучах. На волне 10 мк ее размер составляет 6 угловых секунд. Есть основания полагать, что эта туманность была выброшена звездой во время вспышки 1843 года. В максимуме блеска абсолютная величина η Киля была —14. Многие исследователи считают, что мы наблюдаем уникальное явление — взрыв Сверхновой в нашей Галактике, правда, Сверхновой необычной, очень медленной. По мнению известного аме-

риканского астрофизика Дж. Гринстейна, эта гипотеза подтверждается сходством фотометрического поведения η Киля и необычной Сверхновой 1961e в галактике NGC 1058. Одинока ли η Киля в нашей Галактике?

Раньше никто не обращал внимания на казавшуюся рядовой слабую звезду 14-й величины. Однако благодаря развитию техники инфракрасных наблюдений в наши дни эту звезду «заметили» — она оказалась одной из самых ярких в инфракрасных лучах, ее блеск на длине волны 20 мк равен —6-й величине. В этом диапазоне превосходит звезду по блеску лишь уже знакомая нам η Киля. «Замеченная» звезда была включена в «Каталог инфракрасных объектов» (сокращенно каталог именуется IRC) под номером IRC +10 420.

Распределение энергии в спектре IRC + 10 420 (сверхгигант F8 — G0) удивительно напоминает η Киля, а спектр в целом очень похож на спектр этой звезды в 1892 году, спустя 49 лет после вспышки. К сожалению, мы никогда не узнаем, каков был спектр у η Киля до вспышки.

Американские астрономы Р. Хамфрейс, Д. Стрекер, Т. Мардок и Ф. Лоу, которые детально изучили звезду IRC + 10 420 и установили ее сходство с η Киля, считают ее потенциальной Сверхновой в нашей Галактике. Советские астрономы В. П. Архипова и Н. Е. Курочкин не обнаружили, однако, у IRC + 10 420 изменений спектра и блеска. Вспыхнула ли эта звезда давно или завтра мы станем свидетелями столь редкого явления в Галактике?

Кандидат физико-математических наук
М. С. ФРОЛОВ



Доктор физико-математических наук
В. П. ТРУБИЦЫН

Внутреннее строение планет-гигантов

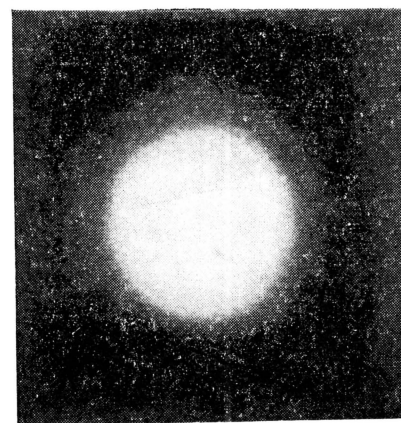
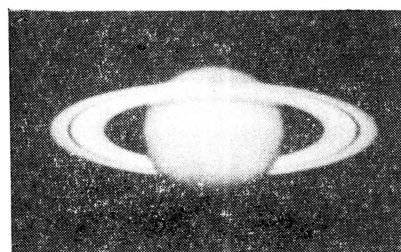
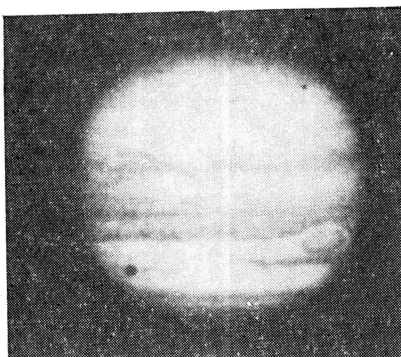
В группу планет-гигантов, отличающихся своими большими размерами и массами, входят Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Юпитер по массе превосходит Землю почти в 318 раз, Сатурн в 95 раз, Уран и Нептун примерно в 15 раз.

Вещество в недрах этих планет должно быть сильно сжато. Но средняя плотность планет-гигантов всего лишь 1 г/см^3 . Следовательно, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун совсем не похожи на каменные планеты земной группы (их средняя плотность около 5 г/см^3) и должны состоять почти целиком из легких веществ, таких как водород, гелий, вода, метан, аммиак и других.

Недра Меркурия, Венеры, Земли и Марса горячие. Планеты-гиганты почти не содержат радиоактивных элементов, распад которых способствовал разогреву планет земной группы. Поэтому ранее высказывались предположения, что под облачными покровами далеких планет скрываются их твердые ледяные поверхности.

Солнце может нагреть Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун лишь до очень низких температур, соответственно: -170° , -200° , -220° и -230° С . Эти температуры вычислили на основании данных о тепле, излучаемом Солнцем, расстоянии до планет и коэффициенте отражения их поверхностей. Действительную же температуру атмосфер планет измеряют по испускаемому ими инфракрасному и радиоизлучению. Оказывается, «поверхность» Юпитера нагрета до -140° , а Сатурна до -180° С . Радиоволны, исходящие из слоев, которые расположены ниже видимых облаков, указывают на рост температуры вглубь

Зная физические характеристики больших планет, а также особенности поведения вещества при высоких давлениях и температурах, можно получить представление о строении недр этих далеких планет.



до 200° у Юпитера и Сатурна и до -120° С у Урана и Нептуна. Согласно расчетам, Юпитер излучает тепла в несколько раз больше, чем получает от Солнца, и средняя температура его недр порядка 10 тыс. градусов! По-видимому, и недра остальных планет-гигантов горячие.

Каково же строение этих удивительных планет? Имеют ли они вообще твердые поверхности? Чтобы узнать, твердые или жидкие планеты-гиганты, нужно сравнить температуру

Юпитер — самая большая планета Солнечной системы. Его масса превышает в 318 раз массу Земли, средняя плотность около $1,3 \text{ г/см}^3$. Огромная планета быстро вращается вокруг оси, делая один оборот примерно за 9,9 часа. Из-за быстрого вращения Юпитер сильно сжат. Его полярный радиус равен 67 тыс. км, экваториальный 71,5 тыс. км

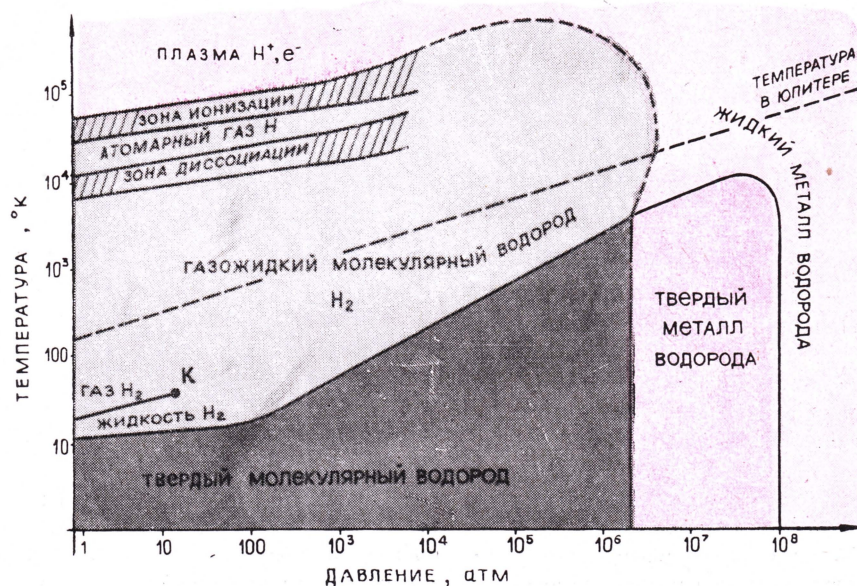
Сатурн находится от Солнца почти в два раза дальше Юпитера. Масса Сатурна составляет 95 масс Земли, средняя плотность около $0,7 \text{ г/см}^3$. Один оборот вокруг оси планета совершает за 10,4 часа. Сжатие Сатурна, так же как и Юпитера, заметно даже на глаз. Полярный радиус Сатурна 54 тыс. км, экваториальный 60 тыс. км

Уран в 3,4 раза дальше от Солнца, чем Юпитер. Масса Урана почти в 15 раз больше земной и примерно в 20 раз меньше массы Юпитера. Средняя плотность Урана равна $1,5 \text{ г/см}^3$. Планета вращается вокруг оси с периодом 11 часов

их внутренних слоев с температурой плавления вещества планеты. Однако предварительно необходимо выяснить, как изменяются с глубиной плотность, давление, температура и химический состав. Изучив поведение всевозможных веществ при высоких давлениях и температурах, соответствующих недрам планет, можно рассчитать, какими свойствами обладает планета, состоящая из того или иного вещества. Сравнивая рассчитанные и известные из наблюдений свойства планеты, астрономы строят ее модель.

ВЕЩЕСТВО ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Относительное количество химических элементов в Солнечной системе составляет (по массе): водорода около 78%, гелия 20%, кислорода 0,7%, углерода 0,3%, железа 0,12%, неона 0,12%, азота 0,09%, кремния 0,08%, магния 0,06% и так далее. В зависимости от условий из этих элементов могут образовываться различные химические соединения. В земных лабораториях можно, сжимая эти вещества под прессом, измерить давление, плотность и температуру. Таким статическим методом достигают давлений до 1 млн. атм при относительно невысоких температурах. Еще большие давления — до 10 млн. атм создают динамическим методом, сжимая вещества плитой, на которую давит ударная взрывная волна. Но от быстрого сжатия вещество обычно сильно перегревается. И наконец, свойства некоторых несложных веществ рассчитывают для заданных давлений и температур. Любой из этих методов позволяет исследовать зависимость плотности от давления и температуры, то



есть найти **уравнения состояния вещества**.

Самое распространенное вещество во Вселенной — водород. Силы, с которыми действуют друг на друга атомы и молекулы водорода, известны. Поэтому на основе квантовой механики и статистической физики можно рассчитать все свойства водорода в любом агрегатном состоянии. В частности, так определили его уравнение состояния и **диаграмму состояний**, которая показывает, в каких условиях вещество будет твердым, жидким, газообразным, плазменным.

На примере водорода можно проследить, как меняются свойства вещества, если изменяется давление и температура. Охлаждаясь при нормальном давлении, газообразный водород переходит сначала в жидкость, затем в твердое состояние. При сильном нагревании молекулы водорода дис-

социируют и происходит ионизация атомов. Когда давление превышает 13 атм, а температура — -240°C (критическая точка), исчезают все различия между газообразным и жидким водородом, и такой водород следовало бы называть газожидким. Если сжимать газообразный водород при постоянной комнатной температуре, то его плотность будет постепенно расти и он превратится в жидкий. Когда давление достигнет 10 тыс. атм, водород станет твердым, при 3 млн. атм это уже будет твердый металл, а выше 100 млн. атм — жидкий металл. Металлический водород — самый легкий металл в природе. В нашей стране и за рубежом ученые добиваются получения металлического водорода в лабораториях.

Превращение в металл под давлением присуще не только водороду, но и всем без исключения веществам. Известно, что в веществе, не пропускающем электрический ток, нет свободных электронов. Все они находятся внутри атомов, образуя электронные оболочки. Для каждого вещества существует определенное давление, при котором электронные оболочки соседних атомов, сближаясь, ната-

■ *Диаграмма состояний водорода показывает, при каких значениях давлений и температур водород находится в твердой, жидкой и газообразной фазе. К — критическая точка для водорода. Пунктирная линия соответствует ходу температуры в недрах Юпитера*

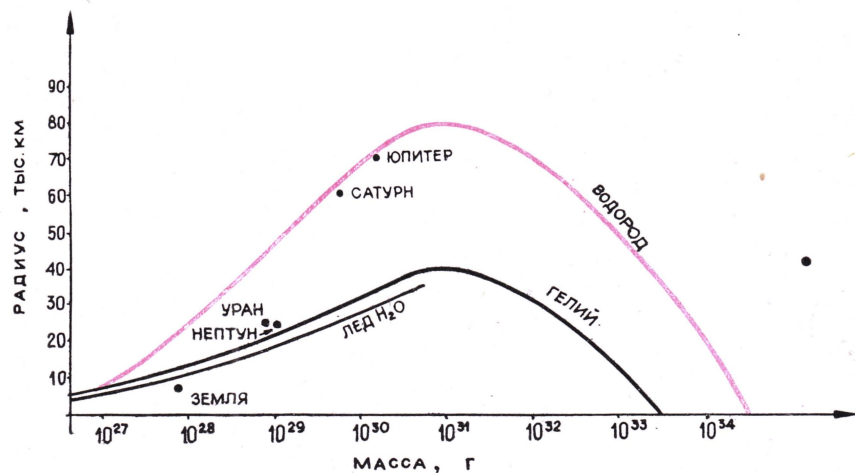
киваются друг на друга и ломаются. Электроны, вырвавшиеся из этих оболочек, становятся свободными. Если включить внешнее электрическое напряжение, электроны смогут направленно двигаться, образуя ток. Вещество приобретает все характерные свойства металла — электропроводность, ковкость, блеск и другие.

Обычные проводники, такие как железо, являются металлами уже при нормальном давлении вследствие того, что расстояние между их соседними атомами меньше диаметра атома. Электронные оболочки разрушаются в момент образования железа, например, когда оно выплавляется из породы. Давление, при котором превращаются в металлы водород и гелий, составляет 3 и 90 млн. атм. Внутри этого диапазона давлений, вероятно, металлизуются и многие другие вещества.

КАК ИЗУЧАЮТСЯ НЕДРА ПЛАНЕТ

Попробуем теперь мысленно построить планету из одного водорода. Представим, что где-то в пространстве оказалось большое облако холодного водорода. Под действием сил всемирного тяготения оно будет сжиматься до тех пор, пока силы тяготения не уравновесятся силами отталкивания между атомами. Каким будет радиус получившегося тела?

Зная, как в каждой точке внутри тела вещество сжато весом вышележащих слоев, и располагая зависимостью между плотностью и давлением для водорода, можно вычислить размеры равновесного тела, а также плотность и давление на разных глубинах. Такие расчеты проделаны для



тел с различной массой. На их основе построены диаграммы масса — радиус, которые показывают, какие радиусы имели бы тела, состоящие из чистого водорода. Аналогичные расчеты сделаны для гелия, воды и других веществ, а также их смесей.

У Юпитера и Сатурна радиусы несколько меньше, чем у чисто водородных тел. Это объясняется тем, что они состоят из водорода с примесью гелия и небольшого количества других веществ. Для Урана и Нептуна столь определенного вывода на основе анализа этих диаграмм сделать нельзя. Дело в том, что такие же радиусы, как у Урана и Нептуна, могут иметь и гелиевые тела, и тела, состоящие из разнообразных смесей водорода, гелия и более тяжелых веществ. Следовательно, кроме массы и

радиуса нужно знать еще и другие характеристики планет.

Из астрономических наблюдений известны размеры, массы, угловые скорости вращения и гравитационные поля планет. Если бы планета не вращалась, то она имела бы форму шара и ее поле тяготения убывало бы по всем направлениям одинаково. Вращающаяся планета сплюснута у полюсов. Наибольшим сжатием обладают быстро вращающиеся планеты, а именно к таким и принадлежат планеты-гиганты. Орбиты их спутников более сложные, чем окружность или эллипс. Анализируя длительные наблюдения за движениями естественных спутников, астрономы вычислили гравитационные поля и сжатия планет-гигантов.

Фигура планеты тесно связана с ее внутренним строением. Вопрос о том, как зависит величина сжатия от распределения плотности в планетах, изучается с XVIII века. И в те времена этот вопрос был очень сложным. Даже Ньютон допустил ошибку. В первых двух изданиях своей знаменитой книги «Начала натуральной философии» он вычислил сжатие вращающегося тела, у которого плотность всюду постоянна, и полагал, что сжатие реальной планеты, в частности Земли, будет больше. Но у планет плотность возрастает с глубиной и значительная доля массы сосредоточена не в верх-

Диаграмма масса — радиус. Если небесное тело состоит из холодного водорода, гелия или льда, то зная массу, можно по соответствующей кривой найти его радиус. С ростом массы размеры тела сначала увеличиваются, а затем усиливающееся притяжение сжимает его до меньших размеров. Любая холодная планета не может иметь большего радиуса, чем максимальный радиус самого легкого водородного тела (80 тыс. км). На диаграмме указано положение планет-гигантов и Земли



них слоях, а вблизи центра. Это приводит к уменьшению центробежной силы на поверхности. В результате сжатие всех реальных планет оказывается не больше, как думал Ньютон, а меньше по сравнению с вращающимися телами постоянной плотности.

Размеры планет и данные об их атмосферах и поверхностях—это внешние характеристики. Данные же о гравитационном поле, создаваемом всем веществом планеты, позволяют «заглянуть» внутрь ее. По гравитационному полю, на основе теории фигуры вращающихся тел, можно более точно вычислить рост плотности с глубиной. Это дает важный критерий для выбора химического состава планет, поскольку зависимость плотности от глубины для тел, состоящих из многих чистых веществ и их смесей, известна.

При изучении внутреннего строения планет нужно знать температуру их недр. От температуры зависит агрегатное состояние вещества в недрах планет. Важно и другое: чем выше температура, тем меньше плотность вещества и тем больше в планете может быть тяжелых примесей.

Температура не может очень быстро нарастать с глубиной, иначе нижележащие, более нагретые слои оказались бы менее плотными и стали бы подниматься. На их место опустятся верхние холодные слои и возникнет конвекция. Равновесие наступит после быстрого охлаждения недр. Температура в планете, выше которой начинается конвекция, называется **адиабатической**. Для чистых веществ и их смесей уравнения адиабат нетрудно вычислить, если известны их уравнения состояния и теплоемкости.

МОДЕЛИ ПЛАНЕТ

Самая большая из планет-гигантов — **ЮПИТЕР**. В Юпитере сосредоточено 70% всей массы планет Солнечной системы.

Уровень облаков условно считается внешней поверхностью Юпитера. Здесь температура и давление примерно равны —140°С и 1 атм. Согласно наблюдениям, атмосфера планеты состоит из большого количества водорода с примесью метана и аммиака. По расчетам, в атмосфере также должны быть гелий и вода. В среднем, химический состав планеты близок к составу Солнца, поэтому Юпитер может содержать по массе приблизительно 60% водорода, около 40% гелия и несколько процентов всех остальных элементов. Температура недр планеты всюду выше температуры плавления сжатого молекулярного и металлического водорода, а также и гелия. Следовательно, почти весь Юпитер должен быть газожидким.

Ниже облачного слоя газовая атмосфера постепенно становится плотнее и теплее, а затем непрерывно, без четкой границы, переходит в жидкость. На глубине 0,2 радиуса планеты (около 15 тыс. км), где давление равно 3 млн. атм и температура около 10 тыс. градусов, находится граница расплавленного металлического водорода.

В газожидкой оболочке молекулы различных веществ, вероятно, почти равномерно перемешаны. Как растет с глубиной концентрация гелия, воды, метана, аммиака и других примесей в металлическом водороде, пока неизвестно. Вблизи центра Юпитера при плохом перемешивании слоев тяже-

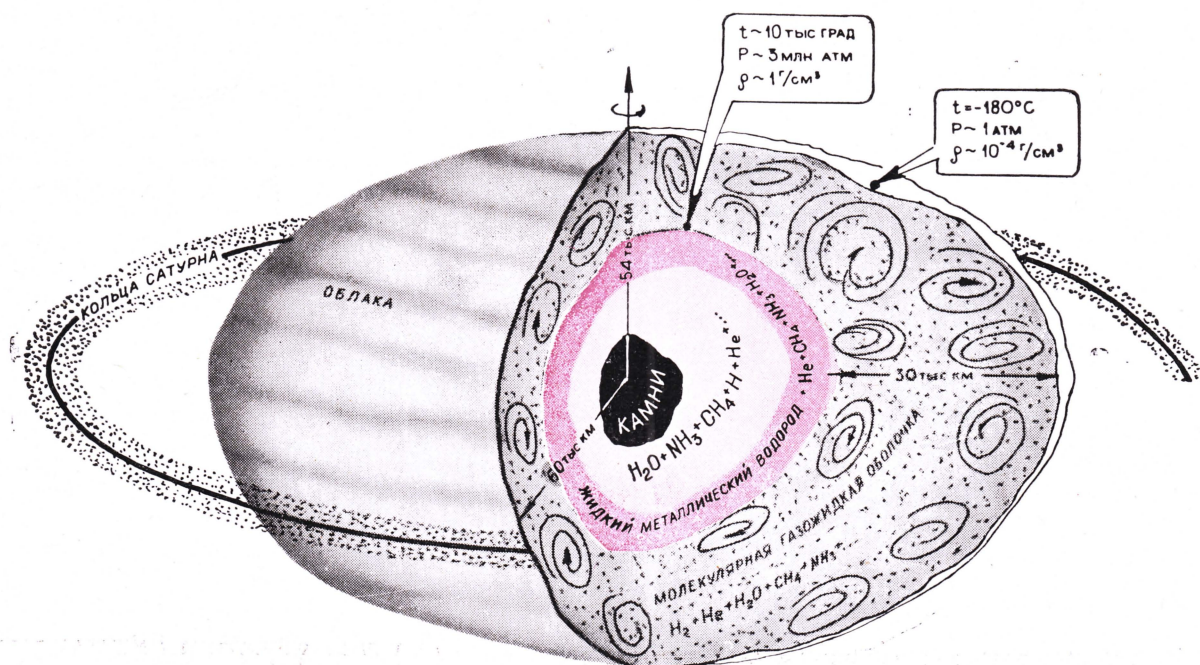
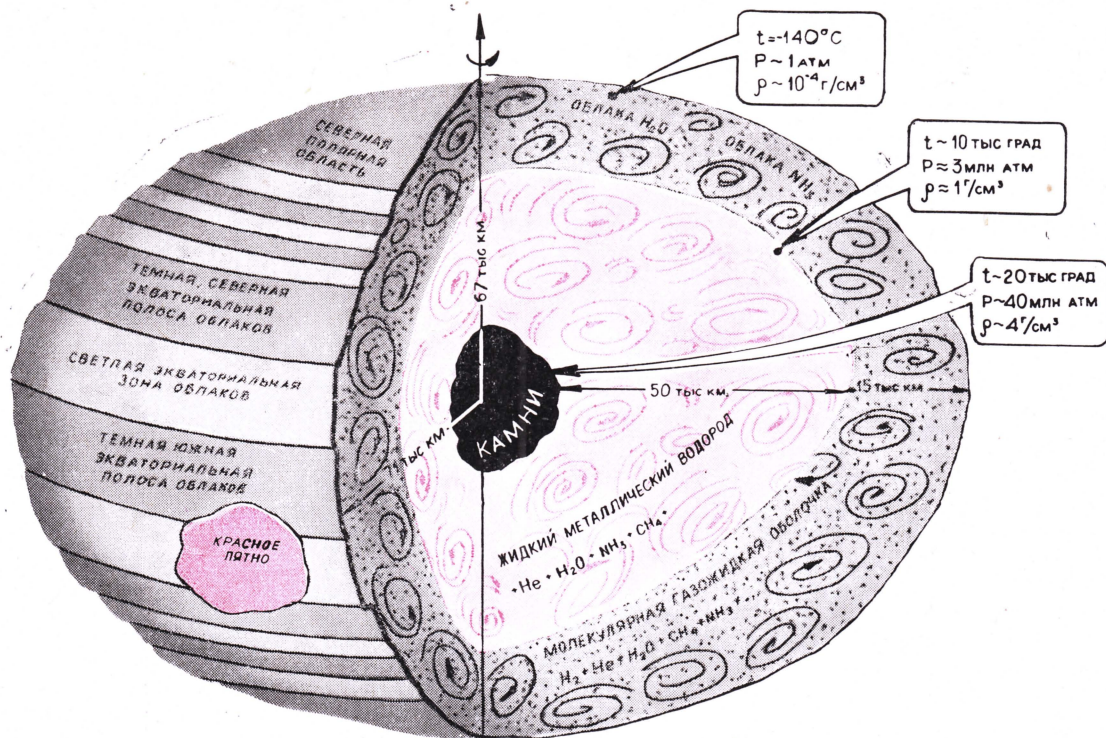
лые вещества могут образовать относительно небольшое железокремнистое ядро, по размерам сравнимое с Землей. На его границе давление около 40 млн. атм, а температура может достигать 20 тыс. градусов.

У Юпитера — мощное магнитное поле. Оно создается конвективными вихрями в расплавленном металлическом водорододе.

САТУРН — вторая по величине планета Солнечной системы. Строение Сатурна в основном должно быть похожим на строение Юпитера. Но так как масса Сатурна меньше, то и давление в его недрах нарастает медленнее. Слой металлического водорода начинается лишь на глубине, равной половине радиуса планеты. По сравнению с Юпитером, вещество Сатурна сжато слабее. И даже при средней плотности 0,7 г/см³ в нем должно быть больше воды, метана, аммиака и других соединений.

Измеренные гравитационное поле и сжатие планеты свидетельствуют о том, что ее оболочка относительно легче, а центральные области тяжелее по сравнению с Юпитером. Из-за малого перемешивания слоев концентрация примесей в металлическом водорододе может довольно резко расти с глубиной. Вблизи центра планеты, по-видимому, находится каменное ядро, которое могло служить зародышем Сатурна или возникло в результате осаждения тяжелых веществ.

Пока нет объяснения, почему у Сатурна, во многом похожего на Юпитер, не обнаружено магнитное поле. Возможно, это поле все-таки существует и его удастся измерить. Его небольшая величина может быть обусловлена недостаточным количеством



металлического водорода и обилием в нем примесей или меньшей активностью процессов в ядре. Кроме того, магнитное поле, генерируемое в ядре, должно значительно ослабевать при прохождении к поверхности Сатурна через очень толстую молекулярную оболочку планеты.

Таким образом, в общих чертах нам известно строение и состав Юпитера и Сатурна. Но пока совсем не изучена динамика процессов, происходящих в их недрах.

Внутреннее строение более далеких планет УРАНА и НЕПТУНА известно лишь ориентировочно. Средние плотности Урана и Нептуна равны 1,5 и 1,7 г/см³. Давление в их центрах около 10 млн. атм. При меньшем давлении в недрах они имеют большие средние плотности, чем Юпитер и Сатурн. Следовательно, Уран и Нептун должны обладать значительным количеством веществ, отличных от водорода и гелия. Гравитационное поле, по которому можно было бы узнать распределение плотности в недрах этих планет, пока известно недостаточно точно. Можно построить множество моделей Урана и Нептуна, которые содержали бы различные комбинации химических смесей и все удовлетворяли бы скудным наблюдательным данным. Поэтому приходится привлекать дополнительные гипотезы. Предположим, что содержание всех элементов в Уране и Нептуне не отличается от характерного для Космоса, за исключением водорода и гелия,

вошедших в эти планеты по какой-либо причине в меньшем количестве. Тогда удастся определить, какие химические соединения (типа воды, метана, аммиака и других) и в какой пропорции образуются из всех элементов в условиях планет. Зная приближенные уравнения состояния этих веществ, можно построить несколько моделей планет и найти, при каком количестве водорода и гелия модель будет лучше подходить к Урану и Нептуну. Оказывается, Уран и Нептун могут почти наполовину состоять из воды. Кроме воды на планетах около 20% водорода, столько же метана, примерно 5% аммиака и так далее.

Наблюдая радиоизлучение Урана и Нептуна, астрономы установили, что температура их атмосфер возрастает с глубиной. Но эти измерения относятся лишь к верхнему слою газовой атмосферы. Поэтому нельзя пока делать уверенного вывода об агрегатном состоянии недр этих планет. Однако, если температура в Уране и Нептуне все-таки возрастает (как во всех других планетах Солнечной системы) и рост ее соответствует адиабатическому распределению, то недра и этих планет будут нагреты выше температуры плавления входящих в них веществ. При адиабатическом росте температуры, несмотря на колоссальные давления, в недрах планет-гигантов останутся жидкими и не затвердеют не только водород и гелий, но и вода, метан и аммиак. А в центре планет, где температуры самые высокие, расплавились бы даже камни и железо. Таким образом, в случае справедливости гипотезы об адиабатическом распределении температуры все планеты-гиганты, состоя-



ЗАГАДОЧНЫЕ ВСПЛЕСКИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Детекторы, установленные на четырех американских искусственных спутниках Земли «Vela», зарегистрировали на протяжении двух лет несколько десятков коротких всплесков гамма-излучения неизвестной природы. Для анализа были отобраны 16 всплесков. Каждый из них наблюдался на двух и более спутниках одновременно. Длительность всплесков различна, от 0,1 до 30 секунд.

Эти всплески определенно не связаны ни с Землей, ни с Солнцем. Естественно предположить, что их порождают Новые и Сверхновые звезды. Однако обнаружить связь между вспышками открытых за это время Новых и Сверхновых звезд и моментами всплесков гамма-излучения не удалось. Имеется еще одно возражение против Новых и Сверхновых как источников наблюдаемых всплесков. Характерное время подъема интенсивности во всплеске очень мало, около 0,05 секунды. Такой резкий импульс не может возникнуть в моделях Новых и Сверхновых, которые рассматривают астрофизики. Возможно, всплески гамма-излучения возникают при образовании черной дыры. Но тогда, конечно, нужно допустить, что появление черной дыры не всегда сопровождается вспышкой Сверхновой.

«Astrophysical Journal Letters», 182, L 85, 1973.

щие из легкоплавких веществ, должны быть газожидкими, в отличие от планет земной группы, имеющих тугоплавкие твердые каменные оболочки. Исследования приливных процессов, обусловленных взаимодействием естественных спутников и планет-гигантов, также указывают, что по крайней мере большая часть недр всех планет-гигантов должна быть жидкой.

■ *Внутреннее строение Юпитера*

■ *Внутреннее строение Сатурна*



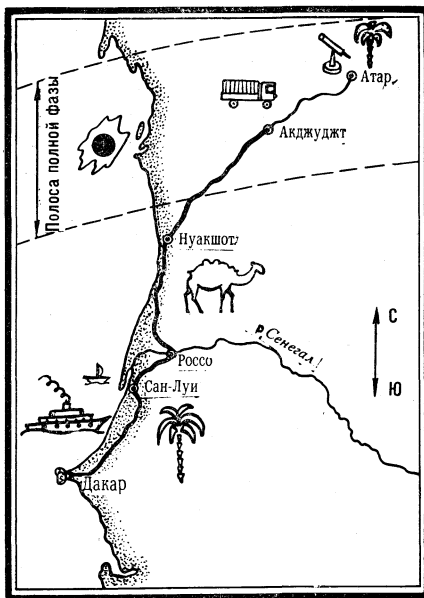
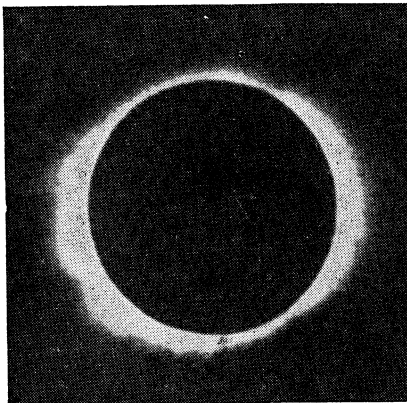
ЭКСПЕДИЦИИ

Затмение в Западной Сахаре

Ученые настойчиво проникают в тайны Солнца. В арсенале исследователей появляются все более сложные инструменты — мощные телескопы, спектральные приборы, узкополосные фильтры; на смену визуальным наблюдениям приходит фотографическая регистрация изображений; диапазон наблюдений расширяется и постепенно охватывает всю шкалу электромагнитного излучения от радиоволн до жесткого рентгеновского и гамма-излучений; лаборатории астрономов насыщаются сложнейшей электронной аппаратурой, и, наконец, выносятся в открытое космическое пространство.

Сейчас исследованием Солнца занимаются практически все обсерватории мира. Они проводят наблюдения по программе службы Солнца, а также специальные наблюдения для решения конкретных научных задач.

Солнечную хромосферу и корону детально можно изучать лишь во время полных солнечных затмений. Хотя внезатменный коронограф и позволяет исследовать физические процессы в хромосфере и короне при высокой прозрачности атмосферы (обычно в высокогорных районах), наиболее тонкие, а следовательно, и интересные эффекты ускользают от наблюдателя из-за солнечного света, рассеянного в атмосфере Земли. Вынос инструментов в космическое пространство, в принципе, дал возможность изучать хромосферу и корону независимо от атмосферных условий. Но даже самый большой и тяжелый современный спутник не в состоянии разместить на своем борту многообразие инструментов, необходимых для тех задач, решение которых доступно при наблюдениях с Земли во время сол-



■ Солнечная корона 30 июня 1973 года. Снимок сделан П. В. Щегловым во время затмения

■ Схема маршрута советской экспедиции в Африке

нечного затмения. К тому же стоимость экспедиции в район затмения примерно в 1000 раз меньше, чем запуск рядового солнечного спутника.

К сожалению астрономов, затмение Солнца — довольно редкое явление. Суммарная продолжительность полных фаз затмений за столетие составляет всего около 5 часов. В год бывает максимум пять, минимум два солнечных затмения. Но далеко не всякое представляет интерес для наблюдателей. Бывает так, что полоса полной фазы проходит только по океану или по труднодоступным районам. Корабельная качка и цена доставки оборудования в «дикие» районы могут отпугнуть любого организатора экспедиции.

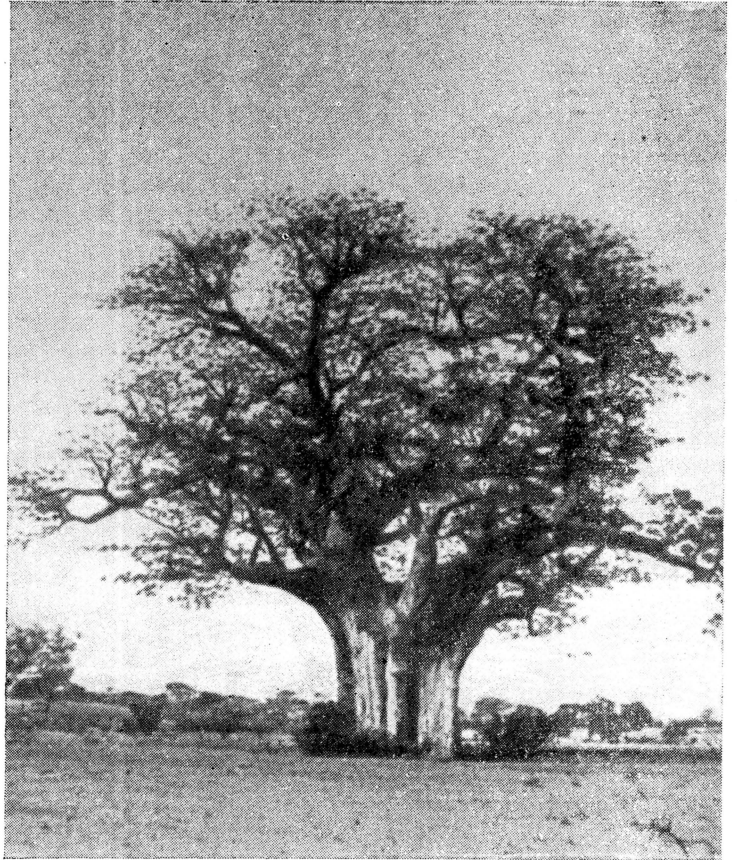
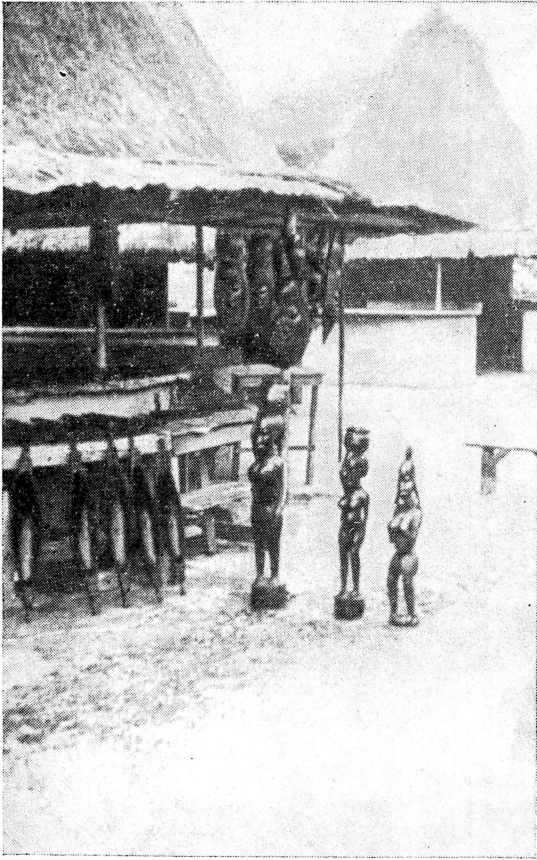
Наиболее удобны для наблюдений затмения, полоса полной фазы которых проходит вблизи экватора, так как в этом случае они имеют максимально возможную продолжительность полной фазы и обычно видны в районах, где можно ожидать хорошей погоды.

30 июня 1973 года произошло рекордное по продолжительности в нашем столетии солнечное затмение. Максимальная длительность полного затмения 7 минут 4 секунды. Полоса полной фазы началась в Южной Америке, пересекла Атлантический

■ Лавочка сувениров в Дакаре

■ Саванна. Такие баобобы встречаются не часто

■ Там, где кончается асфальт, — дорога между Акдjudжтом и Атаром





океан, Африку и закончилась в Индийском океане. Для наблюдений этого явления были снаряжены экспедиции со всех пяти континентов.

От Советского Союза была направлена комплексная экспедиция Академии наук, состоящая из ученых Москвы, Ленинграда, Киева и Абастумани—всего 23 человека. Возглавил экспедицию кандидат физико-математических наук В. М. Соболев. Участникам экспедиции предстояло провести во время затмения наблюдения на 20 установках. Программа наблюдений включала изучение структуры внутренней и внешней короны; физических условий в хромосфере, короне и переходной между ними области; поляризации коронального излучения; исследование распределения и динамики околосолнечной пыли, а также рассеяния излучения в земной атмосфере.

По рекомендации Международного астрономического союза местом расположения экспедиции был выбран город Атар в Западной Сахаре (Мавритания). Этот выбор обусловлен тем, что Атар — ближайший к центру полосы затмения населенный пункт, способный обеспечить водой участников экспедиции. Согласно статистике, вероятность ясной погоды в этом районе в конце июня равна 70%. Расчет обстоятельств затмения показал, что продолжительность полной фазы для Атара 6 минут 5 секунд.

И вот, наконец, в составе первой группы, которая должна обеспечить доставку оборудования, летим в Африку. Позади хлопоты, связанные с оформлением экспедиции и отправкой груза, впереди — его получение, больше 1000 км африканских дорог и,

самое главное, затмение! Восемь часов полета — и мы в Дакаре, крупнейшем порту западного побережья Африки, куда должно прибыть наше оборудование (15 т) и четыре грузовые машины. Первое впечатление — жара и влажность. Быстрее в гостиницу, под душ, а потом уже можно действовать. Правда, действовать пришлось уже в африканском темпе. Два дня ушло на ожидание корабля, оформление документов и, конечно, на экзотику!

Незабываемы роща тропических пальм и деревьев авокадо, плоды которого едят с солью и перцем, огромное количество ярчайших цветов и разноголосый хор птиц. Великолепен остров Горей с обрывистыми, скалистыми берегами и маленькой уютной бухточкой. Музей африканского искусства, где, в отличие от магазина сувениров, представлены настоящие ритуальные маски, одежда, оружие, домашняя утварь, скульптуры и украшения различных народностей Африки. И, безусловно, интересен сам Дакар, грязный с узкими улочками на окраинах и сверкающий сталью и стеклом в центре.

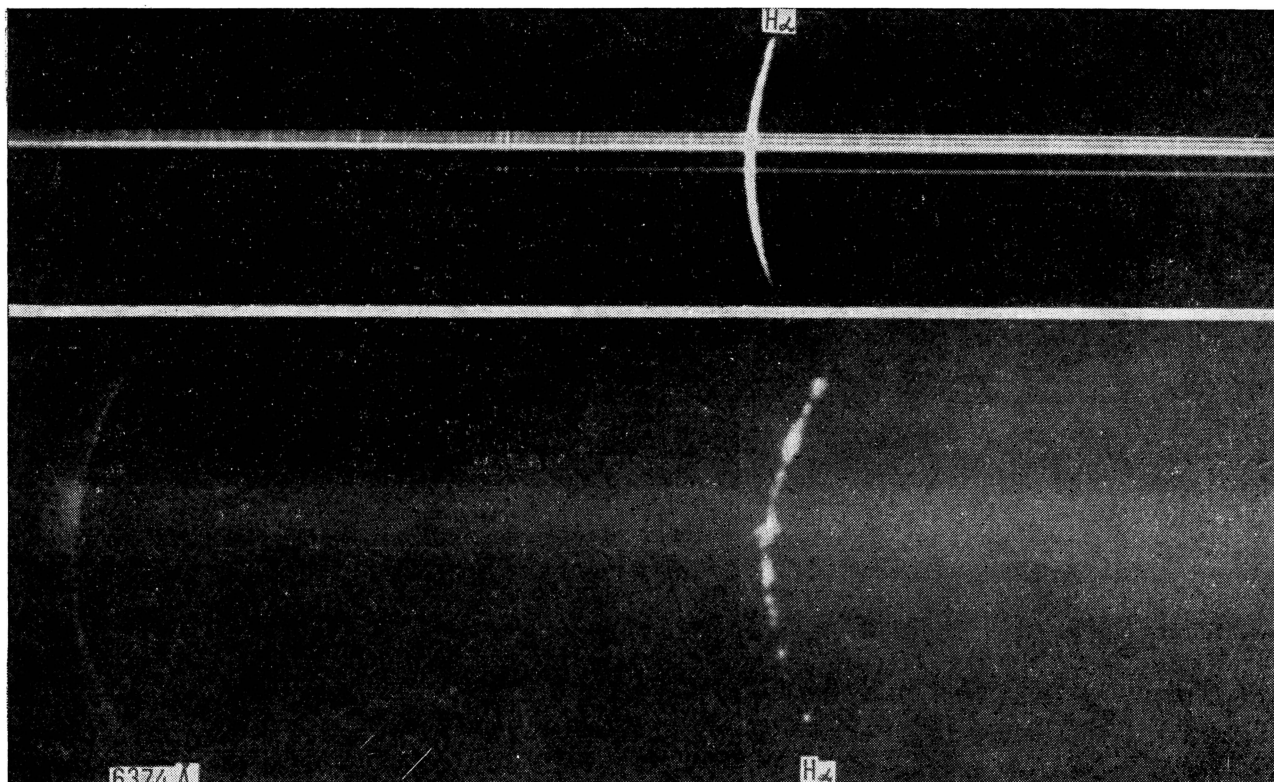
Наступили трудовые будни. 15 июня в 7 часов вечера водители заняли свои места и караван тронулся в путь. Наш маршрут проходил через Сан-Луи в Россо, где предстояло на пароме переправиться через реку Сенегал и одновременно пересечь границу Сенегала и Мавритании. Дорога великолепна — ровный асфальт, который не размягчается даже на этой адской жаре. До пустыни пока далеко. По сторонам дороги тянется саванна: баобабы, пальмы, колючий кустарник — все серое и пыльное. Дож-

ди, которые вдохнут в нее жизнь, будут позже. Переправа проходит без осложнений, но с большой потерей времени — на 500 км пути затрачены целые сутки. В ночь с 16 на 17 июня мы прибыли в Нуакшот, куда уже прилетела вторая группа экспедиции. И опять задержка из-за всяких формальностей.

Наконец 19 июня получаем «добро» и отправляемся дальше. В Акдждуте кончился асфальт и началась дорога под условным названием «грейдер». Она была бы совсем неплоха, если бы не походила на «стиральную доску» и если бы на ней не было песчаных заносов. Единственная из наших машин, которая оказалась приспособленной к таким условиям, — ГАЗ-66. Все ее очень полюбили.

Участок от Акдждуты до Атара — один из немногих, которые мы проехали днем. Это уже начало пустыни. Здесь стало понятно, что до сих пор было просто тепло, а пыли вообще не было. После пустыни Атар показался нам утопающим в зелени, хотя это — всего лишь небольшой оазис. Пустыня вблизи Атара представляет собой каменистое плато, с востока ограниченное невысокими, сильно разрушенными горами. Местами плато покрыто песком, иногда встречаются отдельные барханы.

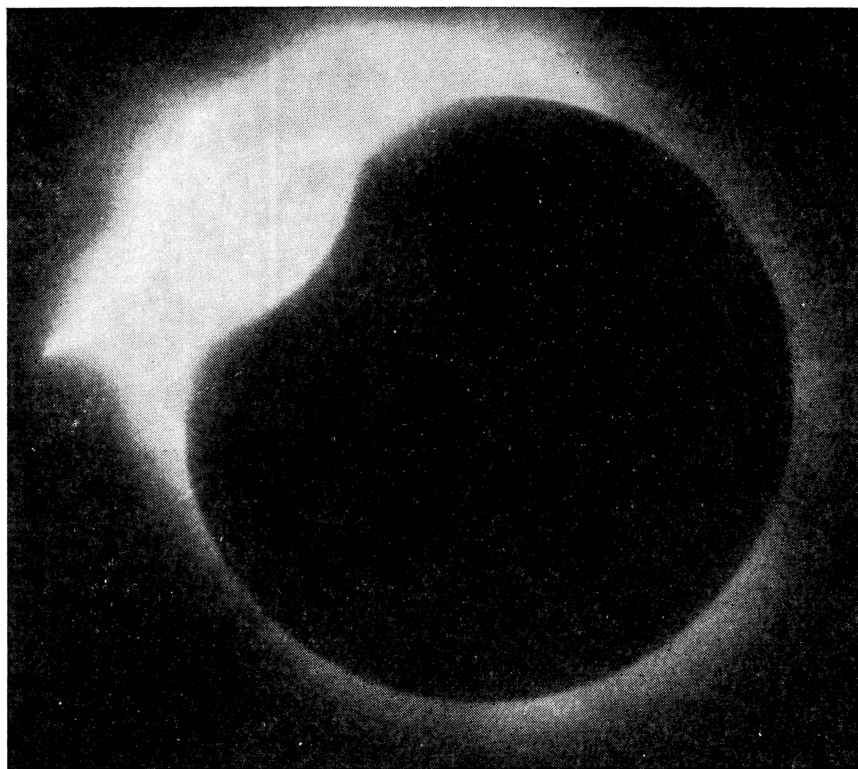
Разместились мы в казармах бывшей французской базы ВВС. На территории этой же базы находились экспедиции и других стран — Франции, Швейцарии, Голландии, Италии и Японии. Иногда организовывались экскурсии для ознакомления с установками зарубежных коллег, но из-за недостатка времени далеко не всем удалось побывать на экскурсии.

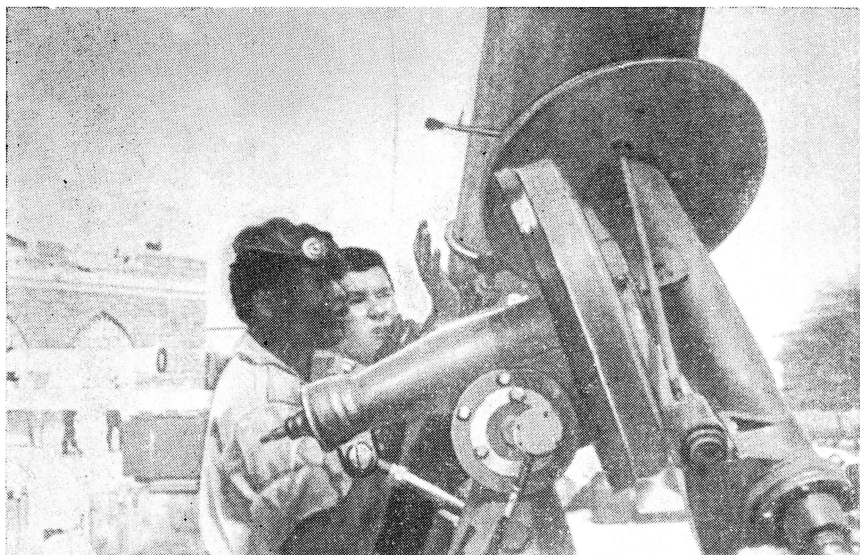


■
Спектр короны перед вторым контактом. Кроме линии H_{α} видно много слабых металлических линий. Полоса, тянущаяся поперек снимка, — непрерывный спектр от незакрытых участков солнечной фотосферы (четки Бейли)

■
Спектр короны во время полной фазы затмения. Слева — красная корональная линия. В линии H_{α} светятся отдельные протуберанцы, еще не закрытые Луной. Спектры получены на бесцелевом спектрографе Р. А. Гуляевым

■
Бриллиантовое кольцо. Так выглядит корона непосредственно перед вторым контактом. Снимок сделан Ю. В. Платовым





Ритм работы по подготовке инструментов диктовался климатом. Минимальная температура воздуха в помещении была зарегистрирована в 5 часов утра и составляла 27° , максимальная 46° , а в среднем днем было около 42° . Работать можно с 5 до 11 и в ночные часы. В крайнем случае можно работать и днем, но в мокром халате. Многие так и поступали. К дню затмения, несмотря на все поломки и жару, приборы были готовы и опробованы. И вот наступило 30 июня.

Утро перед затмением доставило нам много хлопот. Еще до восхода Солнца все уже были на ногах. На спех позавтракав, разошлись к своим инструментам, чтобы сделать последние контрольные проверки готовности аппаратуры к затмению. Солнце взошло в облаках. Сильный ветер поднял пыль, ухудшая прозрачность атмосферы. Казалось, будто сама судьба собирается помешать нам провести наблюдения. При включении электронной аппаратуры радиотелескопов и фотоэлектрического интерферометра были обнаружены боль-

шие наводки на усилителях. Причину наводок выяснили быстро — комментаторы мавританского радио установили мощный радиопередатчик, чтобы вести репортаж о прохождении затмения прямо с наблюдательной площадки. Около получаса пришлось потратить на переговоры с журналистами, после чего они отъехали на значительное расстояние, и помехи исчезли.

9 часов 38 минут — момент первого контакта Луны с диском Солнца. Начали работать радиоастрономы — для радиоволн облака не помеха. А оптики все еще находились в состоянии нервного напряжения и ожидания. Облака постепенно рассеивались, появилась надежда. Однако небольшие облака изредка набегали на Солнце. Пыль, конечно, осталась, поэтому некоторым наблюдателям пришлось срочно менять программу наблюдений — увеличивать экспозиции.

Диск Солнца уменьшался на глазах, постепенно становилось все темнее. Наконец, за несколько секунд до полной фазы от солнечного диска осталась малюсенькая светящаяся точка. Этот красивейший момент затмения, когда темный лунный диск обрамлен слабым сиянием с одной ярко светящейся точкой, астрономы называют

бриллиантовым кольцом. Успеть сфотографировать его — большая удача для наблюдателя.

В 10 часов 25 минут бриллиантовое кольцо погасло и вокруг диска Луны вспыхнуло жемчужно-серебристое сияние — солнечная корона. На потемневшем небе появились яркие звезды и планеты. К сожалению, полюбоваться этой великолепной картинкой могли не все наблюдатели. Астрономы прильнули к своим инструментам. Их движения были рассчитаны заранее с точностью до секунд. Надо было успеть за 6 минут 5 секунд полной фазы выполнить всю программу наблюдений, чтобы потом получить максимальную информацию о физических характеристиках солнечной хромосферы и короны. Погода внесла свою поправку в наши программы — в середине полной фазы через солнечный диск прошло небольшое облако. В конце полной фазы опять вспыхнуло бриллиантовое кольцо, и все повторилось в обратном порядке. Примерно через час Луна «освободила» Солнце и оно, как и прежде, невозмутимо плыло теперь уже на безоблачном небосводе. Но наша работа на этом еще не окончилась. Надо было провести калибровку снимков, проявить фотоматериалы, снятые в момент затмения. Часть фотопленок, не выдерживающих высокой температуры, пришлось проявить на месте. Остальные мы привезли непроявленными в свои институты, чтобы в лабораторных условиях со всеми предосторожностями обработать их.

Даже беглый анализ результатов наблюдения еще в Атаре показал, что экспедиция прошла удачно. Осу-

■
«По моему сигналу переведете этот рычаг». П. В. Щеглов проводит тренировку с помощником-мавританцем



ЭКСПЕДИЦИИ

ствлена большая часть запланированных научных экспериментов. Полностью выполнили программу наблюдений радиоастрономы. Получены крупномасштабные снимки короны в белом свете, снимки короны с радиальным фильтром. Оптическая плотность фильтра по мере приближения к его центру увеличивается примерно так же, как яркость короны, поэтому на одном снимке удается запечатлеть всю корону. Спектрограммы хромосферы и короны после обработки дадут нам новые сведения о химическом составе и физических условиях в этих областях Солнца. К сожалению, пыль в атмосфере сильно ухудшила

качество поляризационных наблюдений. В нашей экспедиции были три интерференционные установки, две из которых предназначались для изучения быстрых движений внутри короны, а третья — для изучения движения окосолнечной пыли. Предварительная качественная обработка негативов и записей на самописцах показывает, что полученные данные представляют значительный интерес для гелиофизики. Все материалы затмения после тщательной и кропотливой обработки будут опубликованы в научных журналах.

...Дорога домой всегда короче. Мы проезжали по знакомым местам, ко-

торые, однако, уже успели измениться. Саванна не была безжизненной и серой. Прошли дожди, и она покрылась нежной зеленью. Все цело. На обратном пути в Нуакшоте в честь нашей экспедиции Советское посольство устроило прием. Президент Мавритании наградил руководителя экспедиции В. М. Соболева орденом «За заслуги перед нацией».

Кандидат физико-математических наук
С. Б. НОВИКОВ

Кандидат физико-математических наук
Ю. В. ПЛАТОВ
Фото авторов

НОВЫЕ КНИГИ

КНИГА О ТАЙНАХ НЕБА

Почему мерцают некоторые звезды, каким образом измерили расстояние до звезд, как открыли планету Плутон, был ли «Большой Взрыв», бесконечна ли Вселенная, каково будущее астрономии — вот неполный перечень вопросов, на которые можно найти ответы в книге А. А. Гурштейна «Извечные тайны неба» («Просвещение», М., 1973 г.).

В книге подробно и интересно описаны история астрономии от древности до наших дней, дела и судьбы многих знаменитых астрономов и физиков. Здесь можно встретить рассказ о древнем каменном «планетарии» Стоунхендж и древних календарях греков и майя, рисунки старинных астрономических инструментов, объяснение метода радиоинтерферометрии и историю открытия квазаров и пульсаров.

Одна из глав посвящена Солнечной системе — планетам, астероидам и кометам. Читатель знакомится с работами У. Лаверье, И. Галле, П. Ловелла и К. Томбо, открывших восьмую и девятую планеты Солнечной системы, с научной деятельностью организаторов «небесной полиции» (слежения за астероидами) фон Цаха и Д. Пиаци. Детально представлены достижения в исследовании Солнечной системы в нашу космическую эру. Автор повествует о людях, талант и трудолюбие которых сделали реальными эти достижения, о развитии ракетостроения в нашей стране, о работах К. Э. Циолковского, Ф. А. Цандера, Ю. В. Кондратьева, о жизни и деятельности главного конструктора — академика С. П. Королева.

Книга написана доступно и увлекательно. Автор приводит мифы и легенды, объясняя, например, проис-

хождение названий созвездий, стихи и отрывки из художественных произведений (например, отрывки из романа В. Пруса «Фараон», где показан страх древних перед затмениями), иллюстрирует текст рисунками, диаграммами, схемами.

Цель, которую ставил перед собой автор, — «рассказать о путях развития многообразной науки астрономии, об основных ее методах и основных достигнутых ею результатах, о судьбах астрономов и о взаимосвязи астрономии с другими науками» — им, безусловно, достигнута.

Книга принесет пользу широкому кругу читателей: школьникам, думающим о выборе профессии, учителям и студентам, интересующимся проблемами астрономии и космонавтики, лекторам общества «Знание» и многим другим.

В. Г. КИРИЛЛОВ



ГИПОТЕЗЫ.
ДИСКУССИИ.
ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Кандидат геолого-минералогических наук
Л. И. ФЕРДМАН

Нефть — откуда она?

ОТ «ЧИРАКА» ДО НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ГИГАНТОВ

Если любознательный читатель прочтет труды Плутарха, посвященные описаниям походов Александра Македонского в I веке до н. э., то наряду с детальным изложением событий жизни полководца он найдет интересные сведения о промыслах нефти на южном побережье Каспийского моря. Прочтет и о светильниках — «чираках», в которых нефть использовалась как горючее. Но не эти существовавшие за несколько столетий до новой эры промыслы были самыми древними на Земле. Стараниями историков и археологов наши познания о применении нефти и газа значительно расширились в последние годы. Установлено, что свыше 7000 лет назад на берегах реки Евфрат уже существовали смоляные промыслы. Ученые древней Греции приводят данные о залежах сицилийской нефти. В Китае за несколько сот лет до нашей эры в провинциях Юнань, Шу-Чуонь и Шанси добывали газ. Но долгий, очень долгий путь (несколько тысячелетий) понадобился нефти, чтобы из источника освещения, зажигательной смеси на войне и смазки для колес превратиться в мощный стимул прогресса.

Значительным событием стало изобретение в начале XIX столетия керосиновой лампы. Производство керосина не могло быть осуществлено способом примитивной перегонки — потребовалось строительство нефтеперегонных заводов. С развитием промышленности резко возрос спрос на хорошие смазочные материалы для

Одной из интереснейших и актуальных проблем в науках о Земле можно назвать проблему нефти и газа. История открытия, география, происхождение, роль в энергетическом балансе — вот, что волнует геологов, геофизиков, географов, экономистов. Публикуемая ниже статья посвящена вопросу происхождения этих ценнейших полезных ископаемых, она знакомит с двумя различными гипотезами — органического и неорганического происхождения нефти.

машин и различных механизмов. Но подлинный переворот в технологии переработки нефти произошел с изобретения двигателя внутреннего сгорания и создания автомобиля. Понадобился бензин, и с каждым годом все в больших количествах. В начале XX столетия для получения бензина начали применять крекинг нефти, то есть разложение ее при высокой температуре.

Рост потребления нефти и газа в нынешнем столетии привел к расширению геологопоисковых работ на всех континентах. Геологи постепенно приблизились к морским и океаническим просторам, и сегодня разведка месторождений ведется в шельфовых зонах всех морей и океанов. Жадным потребителем нефти и газа стала химическая промышленность. Теперь в пределах крупных нефтегазоносных районов строятся не только гигантские нефтеперерабатывающие заводы, но и крупнейшие нефтехимические комплексы.

Все больше добывают нефти и газа из недр Земли, все труднее становится открывать новые месторождения. Помочь в этом сложном деле поисков может четкое и ясное представление о путях образования нефти, о ее генетической природе.

НЕФТЬ БЕЗ ОРГАНИЗМОВ?!

Развитие взглядов на происхождение нефти и газа сложилось так, что более ранние предположения связаны с представлениями о неорганической их природе. Около 170 лет назад естествоиспытатель А. Гумбольдт впервые высказал мысль о глубинном происхождении нефти. Но еще задолго до него известный ученый древности Страбон (63 г. до н. э. — 24 г. н. э.) считал, что нефть связана с извержением вулканов. «Озеро полно асфальта. От времени до времени асфальт извергается на поверхность из самой глубины с пузырьками, как будто происходит кипение воды. Поверхность воды, вздуваясь, получает вид холма. Вместе с асфальтом поднимается на поверхность большое количество похожей на дым копоти, незаметной для глаза», — так Страбон описывает процесс излияния нефти в Мертвом море.

В период почти двух тысячелетий от Страбона до Гумбольдта многие исследователи, в том числе и такие известные, как Абуль-Хасан—Али Ибн Хусейн Масуди (X в. н. э.), Марко Поло (XIII в.), М. В. Ломоносов, пытались объяснить происхождение нефти и газа. Однако наиболее продуктивными оказались многочисленные догадки о происхождении нефти и газа в XIX веке. Возникают различные «глу-

бинные гипотезы», «синтетическая гипотеза» М. Бертелло, в основе которой было предположение о возможности образования углеводородов, битумов и гудронов синтетическим путем, и, наконец, известная «минеральная гипотеза» Д. И. Менделеева, предложенная в 1877 году.

Д. И. Менделеев считал, что нефть образуется в результате действия воды на карбиды металлов в глубинных участках земной коры. Углерод карбидов и водород, входящий в состав воды, при этих реакциях превращаются в углеводороды, которые в газообразном состоянии поднимаются по трещинам в верхние слои Земли и здесь, конденсируясь, образуют залежи нефти в пористых пластах.

В конце XIX столетия родилась оригинальная «космическая гипотеза» происхождения нефти. В октябре 1899 года в Московском обществе испытателей природы В. Д. Соколов сделал доклад о космическом происхождении битумов. Он предполагал, что углеводороды находились в первоначальном земном газовом облаке и были поглощены при образовании земной коры.

Появление в XIX столетии ряда концепций о неорганическом происхождении нефти было исторически оправдано, так как они соответствовали всему комплексу имевшихся тогда геохимических данных.

В 50—60-х годах XX столетия идеи представителей неорганической концепции были особенно популярны. В это время в нашей геологической литературе появляются многочисленные работы сторонников неорганического направления — Н. А. Кудрявцева, В. Б. Порфирьева, П. Н. Кропотки-

на и других. С большей или меньшей степенью убедительности они критиковали органическую теорию и возрождали идею о неорганическом происхождении нефти и газа. Наибольшей стройностью и четкостью мысли отличается гипотеза, предложенная академиком АН УССР В. Б. Порфирьевым. Суть ее состоит в следующем.

Одним из существенных фактов, свидетельствующих в пользу неорганической природы нефти, является приуроченность значительного количества нефтепроявлений и скоплений нефти и газа к кристаллическим и метаморфическим породам фундамента. В США — это месторождения Рейтлснейк, Хиллс, Конейджо-Пейс, Панхендл и другие, в Канаде — Альберта, Клар и другие, в Мексике — Топила, Фурберо, на Кубе — Мотембо, Бакурано, в Венесуэле — Ла-Пас, Мара, в Марокко — Оуенд, Зраар и другие.

В СССР нефтяные битумы в магматических породах обнаружены в трапах Сибирской платформы, в дайках щелочно-ультраосновных пород на склонах Анабарского массива, в алмазонных трубках Якутии, в андезитобазальтах Гулианского района Грузии, в Хибинском массиве, в Украинском кристаллическом массиве, в диабазях Западной Сибири (Тюменская опорная скважина). Кроме того, особенности химического состава нефти — высокое содержание асфальтово-смолистых соединений, формирующихся на больших глубинах земной коры, — характер распределения нефти и газа в кристаллических породах фундамента и комплексный анализ этих данных с позиций современных представлений о планете Земля позволяют прийти к заключению, что нефть находят-

ся во внутренних (подкорковых) зонах планеты. Она, по-видимому, была образована одновременно с другими минеральными веществами, вошедшими в состав планеты, и теперь, так же как газ и вода, выделяется на поверхность Земли в результате перераспределения вещества. Такая позиция близка к представлениям, которые сложились у современных космогонистов, предполагающих, что углеводороды присутствовали уже в протопланетном облаке.

В процессе аккумуляции планет из протопланетного облака нефтяные углеводороды, замерзшие газы и вода вошли в их состав, а затем сформировали залежи нефти и газа. Известно, что метан и другие углеводороды обнаружены в атмосфере Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. Очевидно, углеводороды на этих планетах имеют неорганическую природу, так как трудно предположить существование там сейчас или когда-либо в прошлом живых организмов.

По мнению В. Б. Порфирьева, все известные на Земле месторождения нефти и газа сформировались сравнительно недавно, в период после миоцена, то есть за последние 10—15 млн. лет. Одним из доказательств этого можно считать отсутствие древних разрушенных месторождений нефти. Очевидно и другое, а именно: все известные месторождения сформировались близко и почти одновременно в короткий промежуток времени на всех континентах и во всех геотектонических зонах — в геосинклиналях и на платформах.

Образование месторождений нефти и газа в соответствии с предположением о неорганическом происхожде-



ГИПОТЕЗЫ
ДИСКУССИИ
ПРЕДЛОЖЕНИЯ

нии можно представить следующим образом.

В миоцене (а быть может, и позднее) нефть, находящаяся на огромных глубинах (где-то в подкоровых зонах), начала двигаться к верхним слоям Земли. Она поступала с глубины, уже обладая всеми свойствами высокомолекулярных соединений и асфальто-смолистого комплекса. В сильно нагретом состоянии и под огромным давлением (что обуславливало разрыв пластов) нефть проникла в пористые зоны, заполненные водой. При этом колоссальное количество нефти и газа, достигнув поверхности Земли, бесследно исчезало, так как нефть в окислительных условиях разлагалась, а газ улетучивался в атмосферу. Подсчеты количества нефти, вылившейся на поверхность, показывают, что оно исчисляется миллиардами тонн. Что же касается газа, то следы его продолжающейся миграции в атмосферу нетрудно обнаружить и сейчас. Таково основное содержание концепции одного из ярчайших представителей современных «неорганистов».

Мнение астрофизиков и космохимиков о возможности абиогенного синтеза углеводородов в условиях космоса, о масштабах этого явления и отношении его к нашей планете во многом подтверждают изложенную концепцию. Органические соединения в небольших количествах присутствуют во всех типах метеоритов. Но в одном типе — углистых хондритах — содержание органических соединений достигает нескольких процентов. Это в основном нелетучие органические соединения, которые сохранились, не испарившись, в течение десятков и сотен миллионов лет, пока метеориты

блуждали в околопланетном пространстве в виде сравнительно небольших глыб. Однако, растирая в порошок минеральные зерна метеоритов и прогревая его в вакууме, ученые смогли выделить первичные летучие органические соединения, сохранившиеся внутри этих зерен. Оказалось, что это те самые соединения, которые образуются в наибольшем количестве, когда три газа — водород, углерод и кислород, смешанные в тех пропорциях, в которых они присутствовали в протопланетном облаке, реагируют друг с другом.

Земля аккумулировалась из твердого вещества, сходного с метеоритами. Исходя из доли углистых хондритов среди метеоритов можно оценить, что общая масса органических соединений, содержащихся в первоначальной Земле, сравнима с массой современных океанов.

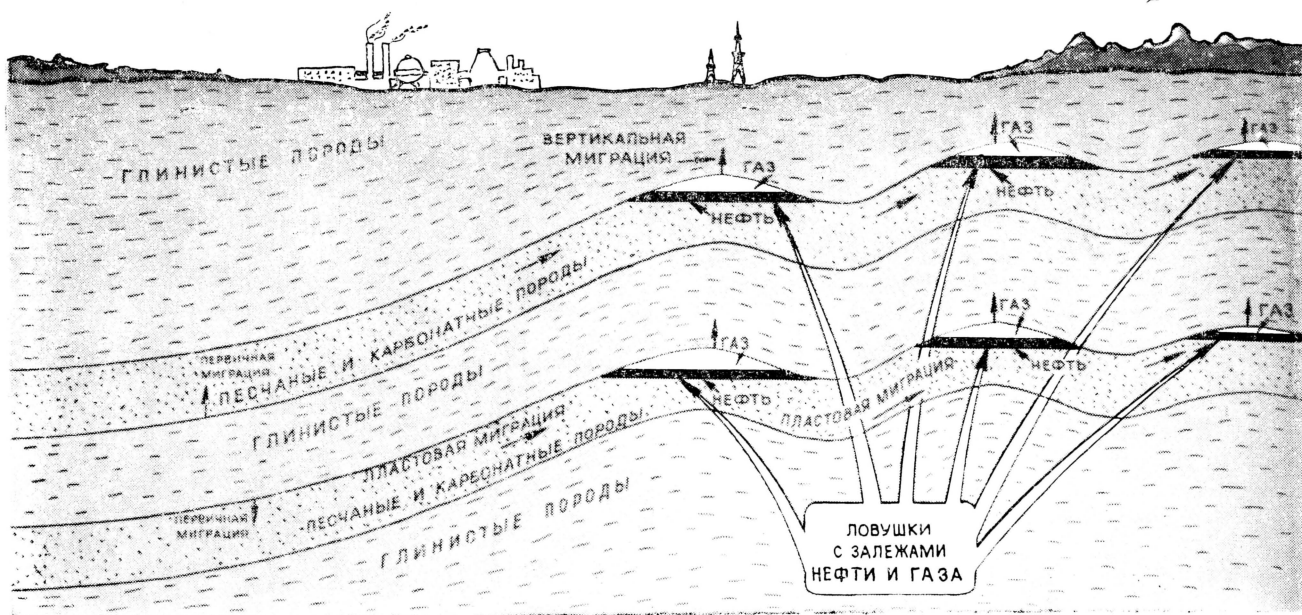
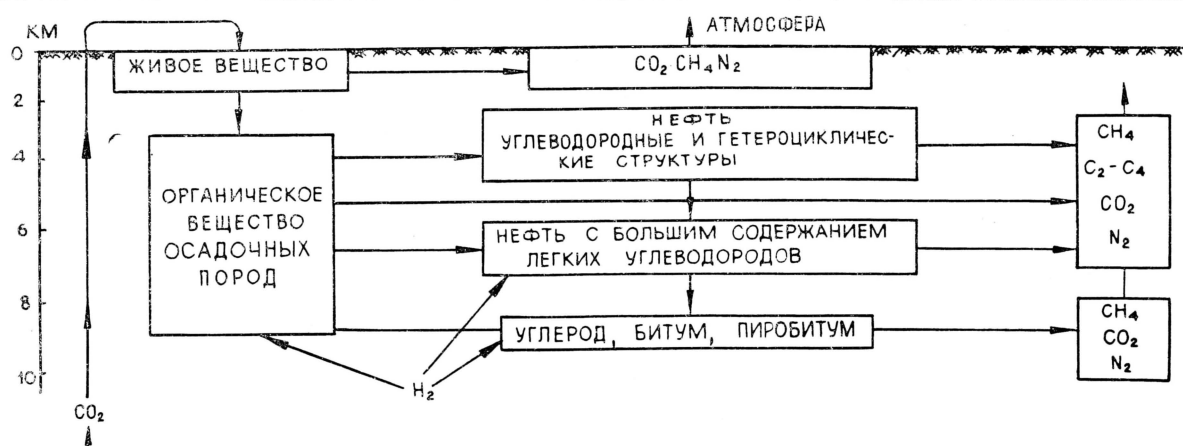
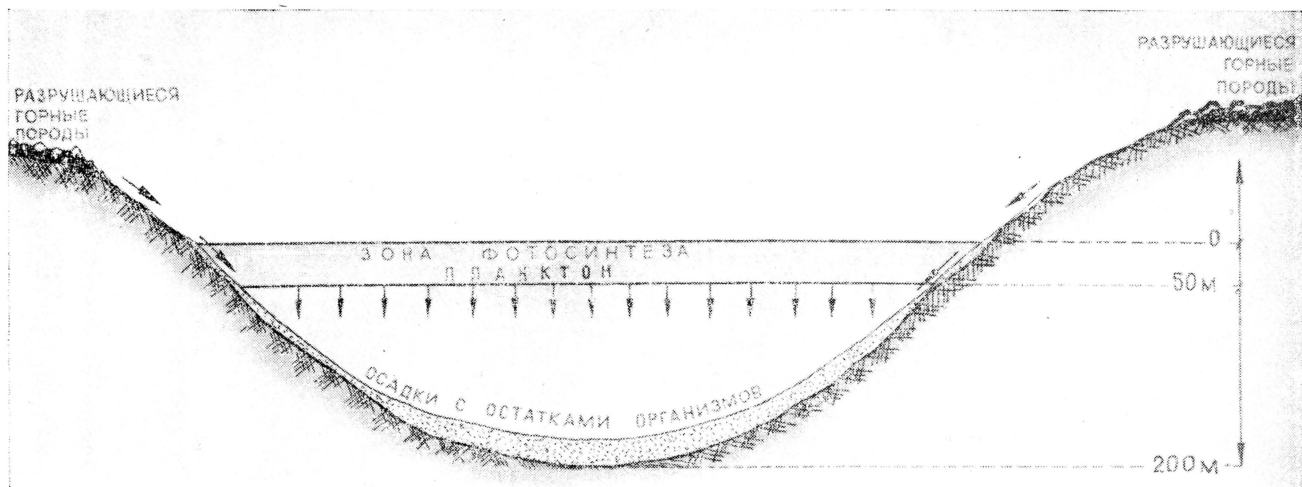
НЕФТЬ И ГАЗ ИЗ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА!

Появление первых серьезных попыток объяснить происхождение нефти и газа из исходного органического вещества относится к концу XIX началу XX столетия. Большую роль в этом отношении сыграли опыты К. Энглера в 1888—1907 годах. Он превращал растительные и животные жиры в нефть и нефтеподобные продукты. К. Энглер подвергал жиры перегонке при повышенном давлении и температуре около 400° и получал предельные и непредельные углеводороды жирного ряда, незначительное количество ароматических углеводородов и некоторых кислотсодержащих соединений. На основании своих опы-

Накопление осадков, которые в дальнейшем превращаются в нефтегазопродуктивные породы, происходит в мелководном морском бассейне, характеризующемся нормальной соленостью и восстановительными условиями. Одновременно с минеральной частью осадков на дне водоема отлагаются органические вещества, образующиеся за счет гибели планктона. По мере погружения дна водоема, ранее отложившиеся осадки, а вместе с ними и погребенные органические вещества перекрываются более молодыми образованиями

Вследствие погружения более древних отложений на значительные глубины в них изменяется физико-химическая обстановка (возрастают давление, температура) и начинается преобразование рассеянного органического вещества. С возрастанием глубин, консолидацией осадков, то есть превращением их в породы, органическое вещество преобразуется в подвижные углеводороды (нефть, газ)

Одновременно с этим осуществляют интенсивные подвижки земной коры. Если преобладают восходящие тектонические движения, то на месте бывшего морского бассейна образуется суша. В толще осадочных пород формируются ловушки (антиклинальные складки). Вследствие неодинаковой восприимчивости различных пород (песчаных, карбонатных, глинистых) к нагрузкам происходит переток подвижных углеводородов из наиболее уплотняющихся глинистых пород в менее уплотняющиеся и более крупнопористые песчаные породы — коллекторы, по которым нефть и газ мигрируют к ловушкам.





тов Энглер совместно с Гефером разработал теорию происхождения нефти. Согласно этой теории, нефть образовалась в результате накопления большой массы органического вещества в особых условиях.

В 1905 году рождается направление в органической теории, основанное на предположении о смешанном растительно-животном происхождении нефти из илов-сапропелей. Представителем этого направления был Р. Потонье. Затем появились работы Н. И. Андрусова и Г. П. Михайловского, утвердившие еще одну теорию — теорию нефтематеринских свит.

Расцвет органической теории происхождения нефти и газа начался в годы после установления Советской власти. Большую роль в этом сыграли работы выдающегося ученого-нефтяника академика И. М. Губкина. Много, очень много сделано советскими учеными для воплощения многочисленных данных о природе нефти и газа в стройную теорию органического (или биогенного) происхождения. Долгое время в теории органического происхождения нефти существовали две концепции. Одна из них базировалась на положении о том, что нефть и газ образовались из живых организмов, а также из органического вещества морских илов (в том числе и современных) под действием бактерий. Другая — предполагала образование нефти и газа из рассеянного в осадочных породах органического вещества под действием повышенной температуры и давления на глубинах 1—2 км и глубже.

Последние работы советских и зарубежных геологов показали, что трудно представить, и тем более до-

казать процесс образования нефти и газа в результате воздействия бактерий на современные осадки. Зато никакого сомнения не вызывает формирование полезных ископаемых под действием физико-химических факторов на рассеянное органическое вещество. Эта теория убедительно обоснована известным советским ученым членом-корреспондентом АН СССР Н. Б. Вассоевичем. Общее количество углеводородов, рассеянных в осадочных породах континентов, подсчитанное Н. Б. Вассоевичем, составляет $2 \cdot 10^{14}$ т. В то же время количество углеводородов в нефтяных и газовых залежах оценивается в 10^{12} т. Таким образом, во всех известных нефтяных и газовых залежах содержится менее 1% от общего количества рассеянных в осадочных породах углеводородов.

Как же происходит образование нефти и газа, а затем формирование их месторождений? Процесс этот чрезвычайно сложный и длительный. Обусловлен он многочисленными реакциями органических соединений в осадочных породах. А начало его связано с углекислым газом атмосферы. Запасы атмосферной углекислоты непрерывно пополняются из глубинных зон Земли при извержении вулканов. Углерод, входящий в состав углекислого газа, и является основой всех органических соединений растений и животных. Животные и растения умирают, разлагаются; газы, образующиеся при этом, выделяются в атмосферу, а осадочные отложения насыщаются органическим веществом.

Из каких же организмов складывается нефтематеринское вещество? Проведенные многочисленные исследования

показали, что в основном — из планктона океанов, морей и озер, содержащих большое количество жировых веществ. В дальнейшем, гидролизуясь в воде и осадках водоемов, жиры образуют жирные кислоты, а те в свою очередь при восстановлении поставляют углеводороды, входящие в состав нефти и газа. Сегодня мы находим следы животных и некоторых растительных организмов, давших начало нефти, в осадочных породах и в самой нефти в виде различных пигментов (хлорофиллы) и своеобразных жироподобных веществ — стероидов. Большое значение для подтверждения органической природы нефти и газа имело открытие в нефти «хемифоссилий» — особых ферментов биогенных органических молекулярных структур.

Зарождаются нефть и газ на значительных глубинах, там, где идет сложнейшее преобразование органического вещества. Возникшие нефть и газ мигрируют в толще осадочных пород, заполняют естественные ловушки и формируют залежи. Миграция нефти и газа в осадочных отложениях происходит вполне закономерно — либо вдоль пластов (латеральная миграция), либо вертикально вверх (вертикальная миграция). Такова схема формирования месторождений нефти и газа в соответствии с органической теорией.

КТО ЖЕ ПРАВ?

Многолетние и кропотливые исследования генетической природы нефти и газа, проведенные за последние годы у нас в стране и за рубежом специалистами, чей научный авторитет чрезвычайно высок, свидетельствуют в пользу органической теории. Под-

О. М. ЛЕБЕДЕВА

Задачи по астрономии на уроках математики

тверждением глубокой научности этой теории явилось открытие крупнейших месторождений в Западной Сибири, Средней Азии, на Украине и других районах нашей страны. Таким образом, органическая природа нефти подтверждена опытом. Но означает ли это, что неорганический синтез нефти невозможен? По-видимому, нет. В настоящее время у большинства ученых не вызывает сомнения возможность образования углеводородов в глубинных зонах земной коры, в магматических породах при благоприятной обстановке. Вопрос в том, приводит ли этот процесс неорганического синтеза к формированию значительных месторождений?

А теперь мысленно перенесемся в актовый зал крупнейшего нефтяного научно-производственного объединения, где идет защита отчета о результатах научных исследований за истекший... 1983-й год. Руководитель работ, заканчивая свой доклад, говорит: «Итогом совместных научных усилий лабораторий биогенного происхождения нефти и неорганического синтеза углеводородов явилось выяснение условий образования неорганических углеводородов на глубинах от 15 до 20 км. Сегодня мы уже четко представляем, чем углеводороды органические отличаются от неорганических. Получена возможность более полно познать процессы, протекающие на значительных глубинах, что помогло дифференцировать геохимические аномалии на поверхности. У нас нет сомнения в том, что предложенный ученому совету план поисково-разведочных работ при его осуществлении приведет к открытию сверхгигантского месторождения нефти. И что не

Учителя астрономии хорошо знают, что количество часов, отведенных на изучение астрономии в средней школе, явно недостаточно, их не хватает даже на изложение учебного материала. Естественно, упражнениям и решению задач на уроках астрономии уделяется очень мало времени. А между тем, решая задачи, ученик лучше усваивает пройденный материал.

Однако, учитывая огромный интерес учащихся 5—10 классов к астрономии и космонавтике, было бы целесообразным решать задачи с астрономическим содержанием на уроках математики. Это позволит учащимся углубить знания по астрономии, получаемые в процессе изучения природоведения, географии, физики. На наш взгляд, уже настало время, когда в школьные программы и учебники по математике нужно смелее включать астрономический материал.

Включение астрономических задач в курс математики должно быть целенаправленным и систематическим начиная с 5 класса. Учащиеся 5 классов могут решать задачи на определение большой полуоси орбиты искусственных спутников, изучая формулы пути и процентов, на вычисление величины сжатия планет и длины ор-

биты искусственных спутников при изучении действий с десятичными и обыкновенными дробями. Серьезность формулировок задач обычно не отталкивает учащихся, а, наоборот, привлекает их внимание. Необходимые разъяснения астрономических понятий даются учащимся попутно. Так, нетрудно пояснить ребятам, что такое «апогей» и «перигей». Достаточно сказать, что это — самая удаленная и ближайшая точки орбиты искусственных спутников от поверхности планеты. На объяснение исходных данных задач с астрономическим содержанием уйдет приблизительно столько же времени, сколько обычно отводится на объяснение математических задач. Решая задачи по астрономии, учащиеся 5 классов будут не только повторять основные понятия математики 4 класса, например понятие о среднем арифметическом, действия с десятичными дробями, вычисления по формулам, они узнают о новой области применения математических понятий, о том, что, казалось бы, простейшие понятия математики (например, среднее арифметическое, десятичная дробь) используются в вычислениях, имеющих непосредственное отношение и к таким вопросам, как исследование Космоса.

менее важно — получают, наконец, свое объяснение загадки формирования грандиозных скоплений нефти и газа, таких как Мак-Меррей в Канаде или Хасси-Мессауд на юге Сахары в Алжире. Мы считаем также, что назрела необходимость разведки месторождений, связанных с кристаллическими

породами фундамента и с зонами глубинных разломов.

Так прозвучат эти слова или, может быть, иначе, раньше или позже состоится подобный ученый совет, но хочется думать, что наступит время сотрудничества ученых двух направлений в научной геологии.



АСТРОНОМИ-
ЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

В порядке эксперимента на уроках математики ученикам 6 класса предлагались задачи, связанные с конфигурациями планет, с вычислением солнечной постоянной, масс звезд и их спутников. Задачи подобного рода разбирались при определении числовых значений алгебраических выражений, изучении пропорций, решении систем линейных уравнений.

В 7 классе, проходя тему «Корни», учащиеся могут вычислить по сообщаемым им формулам ускорения силы тяжести, плотности планет, температуру Солнца и звездные периоды обращений планет по третьему закону Кеплера. Задачи на нахождение лучевых и тангенциальных скоростей звезд могут быть решены в курсе 7 класса при изучении теоремы Пифагора.

Ученики 8 класса способны решать задачи, связанные с определением звездной светимости, времени полета космической ракеты на другие планеты. Эти задачи можно включить в тему «Логарифмы». При изучении в 8 классе обобщения понятия о показателе степени можно определить часть солнечного излучения, падающего на Землю и планеты. Знакомясь с тригонометрическими функциями острого угла, учащиеся 8 класса могут решать задачи на определение линейной скорости точек параллели планеты по известной географической широте и среднему радиусу планеты, длины тени по известной высоте Солнца.

На уроках математики в 9 и 10 классах можно переходить к еще более сложным задачам на движение звезд и искусственных спутников, звездной астрономии, повторяя вы-

числения с помощью логарифмов в темах «Тригонометрические функции», а также в темах «Производная и ее применение», «Интеграл», изучение которых предусмотрено новой программой по математике.

Рассмотрим несколько задач, которые мы предлагали учащимся разных классов.

Задача для 5 класса. Сжатие планеты Марс равно $\frac{1}{190}$, экваториальный диаметр составляет 6772 км. Определить полярный диаметр. Напомним, что сжатие планеты вычисляется по формуле $\alpha = \frac{a-b}{a}$, где a — экваториальный, b — полярный радиусы планеты.

Решение. Применяем формулу сжатия планеты: $\alpha = \frac{a-b}{a}$

$$\text{или } \alpha = \frac{2(a-b)}{2a}.$$

Имеем:

$$\begin{array}{l|l} 2a & 6772 \\ \alpha & \frac{2(a-b)}{6772} = \frac{1}{190} \\ 2(a-b) & 36 \\ 2b & 6736. \end{array}$$

Ответ: $2b = 6736$ км.

Задача для 6 класса. Отношение масс Сириуса (M_1) и его спутника (M_2) равно 2,5. Сумма масс этих звезд 3,2. Определить массу Сириуса и его спутника в отдельности (массы звезд выражены в массах Солнца).

Решение. По условию задачи имеем систему двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} M_1 : M_2 = 2,5 \\ M_1 + M_2 = 3,2 \end{cases}$$

Из первого уравнения находим, что $M_1 = 2,5M_2$. Подставляя значение M_1 во второе уравнение, получаем $M_2 = 0,9$, тогда $M_1 = 2,3$.

Ответ: $M_1 = 2,3$, $M_2 = 0,9$.

Задача для 7 класса. Вычислить температуру поверхности Солнца, которая определяется по формуле:

$E = \sigma T^4$, где E — количество энергии, испускаемое 1 см² солнечной поверхности в секунду, σ (постоянная Стефана — Больцмана) равна $5,67 \cdot 10^{-5}$ эрг/см²·сек·град⁴, при условии, что $E = 635 \cdot 10^8$ эрг/см²·сек.

Решение. Так как $E = 635 \cdot 10^8$, а $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-5}$, то из формулы $E = \sigma T^4$ определим

$$T^4 = \frac{E}{\sigma} = \frac{635 \cdot 10^8}{5,67 \cdot 10^{-5}} = 1120 \cdot 10^{12}.$$

Извлекая дважды корень квадратный из $1120 \cdot 10^{12}$, получим $T \approx 5,8 \cdot 10^3$.

Ответ: $T \approx 5,8 \cdot 10^3$ градусов.

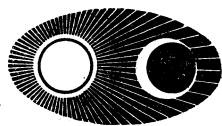
Задача для 8 класса. Вычислить, на каком расстоянии от Земли находится точка, в которой силы притяжения Земли и Луны одинаковы, зная, что расстояние между Луной и Землей равно 60 радиусам Земли, а массы Земли и Луны относятся как 81 : 1.

Решение. Пусть искомая точка находится на расстоянии x от центра Земли. Тогда любое тело массой m , помещенное в эту точку, притягивается

Землей с силой $F_1 = f \frac{M_3 m}{x^2}$, Лу-

ной — с силой $F_2 = f \frac{M_4 m}{(r-x)^2}$, где

M_3 и M_4 , соответственно, массы Земли и Луны, f — постоянная тяготения, r — расстояние от Земли до Луны. По



АСТРОНОМИ-
ЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

условию задачи $F_1 = F_2$, поэтому

$$f = \frac{M_3 m}{x^2} = f \frac{M_{\text{Л}} m}{(r-x)^2}$$

или
$$\frac{M_3}{M_{\text{Л}}} = \frac{x^2}{(r-x)^2}.$$
 Подстав-

ляя данные величины $M_3 : M_{\text{Л}} = 81 : 1$ и $r = 60$ в полученное равенство, найдем $x = 54$.

Ответ: на расстоянии 54 земных радиусов от центра Земли силы притяжения Земли и Луны одинаковы.

Задача для 10 класса. При подлете автоматической станции «Марс-2» к планете Марс от станции отделилась капсула, доставившая на поверхность Марса вымпел с изображением Герба Советского Союза. Определить большую полуось орбиты автоматической станции (a_c), если известно, что период ее обращения (P_c) равен 18 часам. Сравнить движение искусственного спутника Марса с движением спутника Марса — Фобоса, период обращения которого вокруг планеты ($P_{\text{Ф}}$) равен 7,65 часа, а большая полуось орбиты Фобоса ($a_{\text{Ф}}$) = 9400 км. Массами спутников по сравнению с массой самой планеты при решении подобных задач следует пренебречь.

Решение. На основании третьего закона Кеплера:

$$\frac{a_c^3}{P_c^2} = \frac{a_{\text{Ф}}^3}{P_{\text{Ф}}^2}$$

или

$$\frac{a_c^3}{324} = \frac{9400^3}{7,65^2}.$$

Тогда

$$a_c^3 = \frac{324 \cdot 9400^3}{7,65^2}.$$

Отсюда

$$\begin{aligned} \lg 324 & 2,5105 \\ 3 \lg 9400 & 3 \cdot 3,9731 = 11,9193 \\ 2 \lg 7,65 & 2 \cdot 0,8837 = 1,7674 \\ \lg a_c & \frac{1}{3} \cdot 12,6624 = 4,2208 \\ a_c & 16\,630 \approx 16\,600. \end{aligned}$$

Ответ: $a_c = 16\,600$ км.

Аналогичные задачи учителя могут составить сами, воспользовавшись Сообщениями ТАСС о запуске космических аппаратов.

Пока в учебных пособиях и задачаниках по математике для 5—10 классов почти нет задач с астрономической тематикой. Опыт нашей работы в школе показывает, что в настоящее время было бы полезно выпустить дополнение к стабильным задачкам, из которого преподаватель мог бы подобрать для определенного урока в числе других задач и астрономические. Такой задачник должен содержать не только основные теоретические положения, но и примеры решения наиболее трудных задач. Если же задачи несложные, то надо указать лишь метод их решения, хотя бы для одной задачи данного типа.

Включение задач с астрономическим содержанием в курс математики средней школы позволит закрепить знания, полученные на уроках физики (например, понятие о массе, энергии, законе всемирного тяготения), физической географии (например, о форме и размерах Земли) и других предметов. Это важно и для более глубокого изучения астрономии в курсе 10 класса. Мы убеждены, что и само преподавание математики станет более содержательным и даст возмож-

ность перейти от нередко надуманной тематики задач к интересным задачам, связанным с миром небесных тел и освоением космического пространства.

МОЩНЫЙ РАДИОВСПЛЕСК В ГАЛАКТИКЕ ЗС 120

В течение двух последних лет американские радиоастрономы следили за поведением сейфертовской галактики ЗС 120 и пришли к выводу, что время от времени в ней происходят мощные взрывы, приводящие к интенсивным всплескам радиоизлучения. Амплитуда всплесков на волне 3,2 см составляет десятки процентов от радиоизлучения всей галактики.

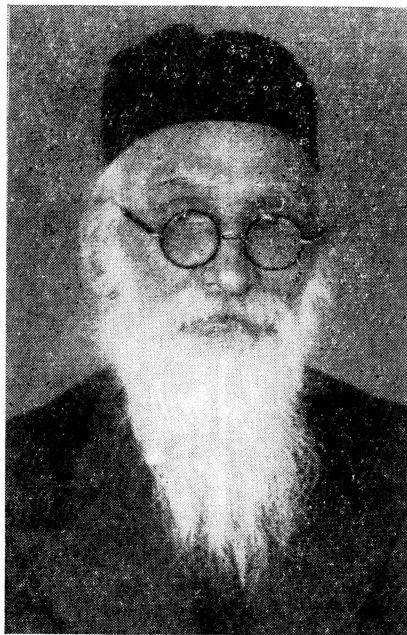
Особенно сильным был всплеск в июне — ноябре 1972 года, когда поток радиоизлучения от ЗС 120 возрос на 60%. Американские радиоастрономы измерили угловые размеры источника этого всплеска, используя радиоинтерферометр со сверхдлинной базой. Оказалось, что в июне — августе угловой размер источника всплеска был меньше 0,0003 секунды и не разрешался интерферометром, а в ноябре достиг 0,001 секунды. Изменение видимого углового размера соответствует скорости расширения источника, в 2—6 раз превышающей скорость света. Противоречие с теорией относительности, согласно которой невозможны сверхсветовые скорости, устраняется, если учесть возможность расширения источника со скоростью, близкой к световой (порядка 0,9 с), и конечную скорость распространения радиоволн.

«Astrophysical Journal Letters», 183, L 47, L 51, 1973.

Четверть века Латвийскому отделению ВАГО

Астрономия в Латвии не имеет глубоких исторических традиций. До первой мировой войны при Рижском политехническом институте был только небольшой астрономический кабинет. Астрономическая обсерватория Латвийского университета основана лишь в 1922 году. И все же это не означает, что в Латвии раньше не было астрономов. Правда, астрономические исследования велись нерегулярно и только отдельными энтузиастами. Так, профессор Рижского политехнического института А. Бек известен как конструктор нескольких оригинальных приборов. Он предложил и опубликовал схему призменной астролябии в 1892 году — за 10 лет до «изобретения» этого прибора французскими конструкторами Клодом и Дриенкур-ром. В 1900 году в Русское астрономическое общество вступил А. Рихтер, который с 1899 по 1915 год издавал в Риге астрономический календарь. Несколько позднее в Мангальской морской школе начал работать А. Жаггер, впоследствии основатель и руководитель обсерватории Латвийского университета.

В Советской Латвии астрономия стала успешно развиваться. («Земля и Вселенная», № 6, 1972 г. стр. 16—24.— Прим. ред.) В это же время повысился интерес к астрономии и среди неспециалистов. По предложению известного астронома Я. Икауниека в Риге было организовано отделение Всесоюзного астрономо-геодезического общества (ВАГО). Среди инициаторов основания отделения был и старейший латвийский астроном, почетный член Академии наук ЛатвССР, заслуженный деятель науки, профессор Ф. Блумбах. Первое собрание латвий-



ских любителей астрономии состоялось 18 ноября 1947 года. В Рижское отделение ВАГО вступило 25 человек, его председателем был избран Я. Икауниека.

В 1962 году Рижское отделение было реорганизовано в Латвийское отделение ВАГО. Сейчас в нем насчитывается 214 членов и 9 членов-корреспондентов — Радиоастрофизическая обсерватория АН ЛатвССР, Республиканский Дом знаний, Рижская геодезическая служба и республиканские проектные институты.

Один из основателей Латвийского отделения ВАГО почетный член Академии наук ЛатвССР, заслуженный деятель науки, профессор Фриц Блумбах (1864—1949)

В Латвийском отделении две секции — астрономическая и геодезическая. В секциях регулярно проводятся собрания, на которых рассматриваются работы членов общества, новейшие достижения науки и техники, обсуждаются актуальные проблемы, связанные с жизнью отделения. Быстро растет библиотека отделения. В ней сейчас более 4000 книг и журналов по астрономии, геодезии, геофизике. Библиотекой пользуются члены ВАГО, сотрудники астрономических учреждений, учителя, студенты, школьники.

Признанием успехов в деятельности Латвийского отделения ВАГО можно считать проведение в Риге нескольких всесоюзных конференций и IV съезда ВАГО.

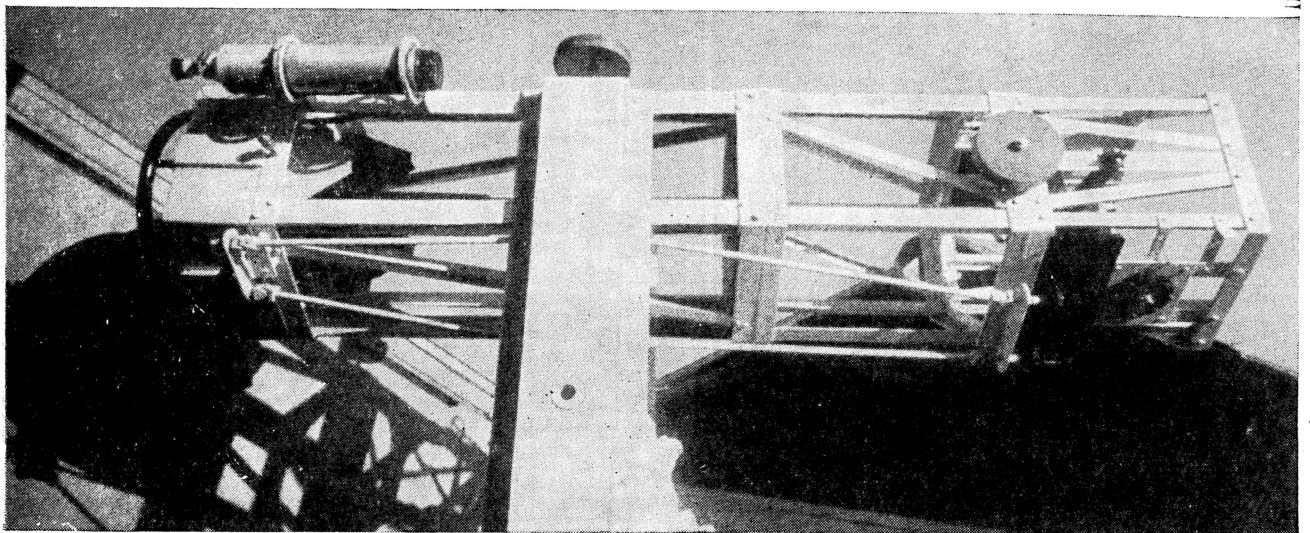
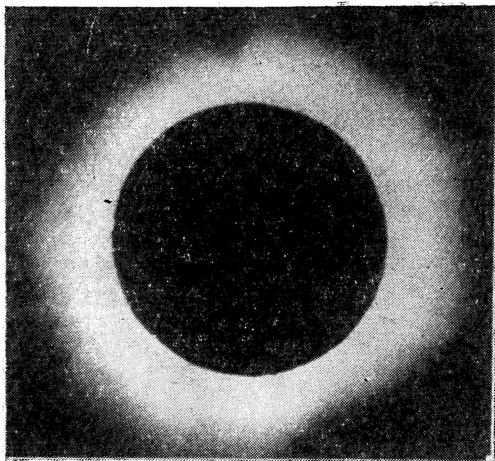
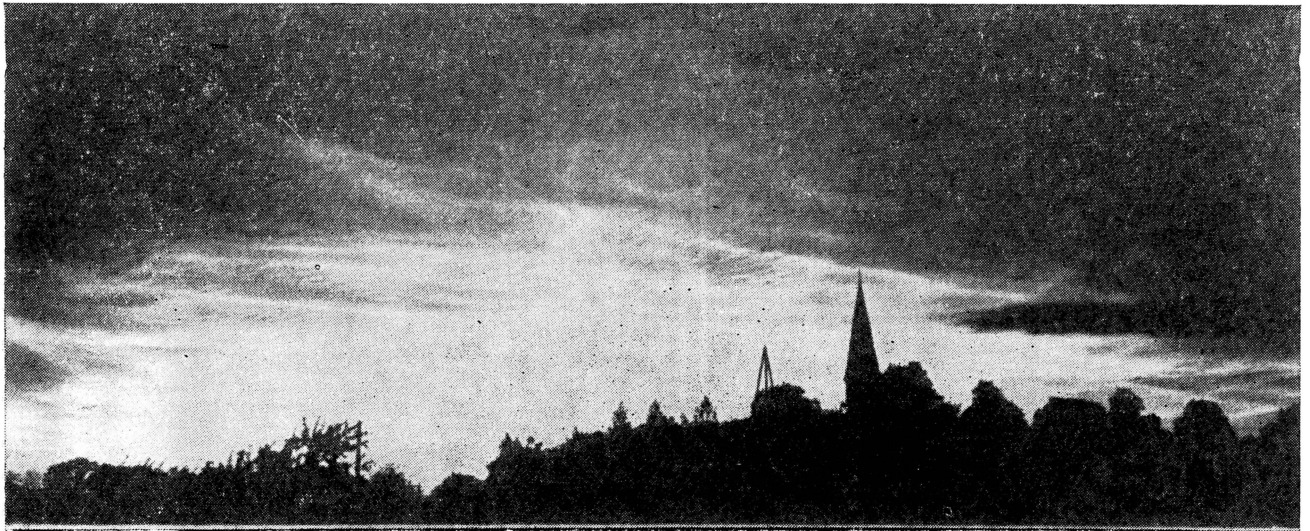
Астрономическая секция. Одна из основных задач ВАГО — придать работе любителей астрономии научное и практическое значение. В курорт-

Серебристые облака в ночь с 15 на 16 июля 1959 года. Снимок получен на обсерватории Латвийского отделения ВАГО в Сигулде

Корона Солнца во время полного солнечного затмения 22 сентября 1968 года. Корону сфотографировали камерой с диаметром объектива 80 мм и фокусным расстоянием 500 мм М. Гайлис и Дз. Лусе

Демонстрация частного затмения Солнца 20 мая 1966 года в Сигулде

500-миллиметровый телескоп имени Ф. Блумбаха, изготовленный латвийскими телескопостроителями





ном местечке Сигулда (50 км от Риги) создана небольшая обсерватория. Здесь члены общества могут работать над интересующими их астрономическими и геодезическими вопросами. В обсерватории также демонстрируются Луна, планеты, звездное небо. Готовясь к исследованиям, предусмотренным программой Международного геофизического года, Латвийское отделение построило в Сигулде павильон для наблюдения серебристых облаков. Фотографируют серебристые облака в Сигулде с 1956 года, причем часть фотографий получена одновременно на двух и даже трех наблюдательных станциях. По таким фотографиям определяют высоту серебристых облаков, скорость их движения. Члены отделения регулярно докладывают о результатах своих наблюдений на всесоюзных и международных конференциях, их статьи опубликованы в трудах конференций и других изданиях. Наблюдения серебристых облаков легли в основу нескольких дипломных и курсовых работ, написанных студентами

■
Купол церкви св. Петра в Риге

■
Монтаж металлических конструкций церкви св. Петра проходил под наблюдением геодезистов Латвийского отделения ВАГО

Латвийского государственного университета.

Большое внимание в Латвийском отделении ВАГО уделяется наблюдениям затмений Солнца и Луны. За 25 лет экспедиции отделения четыре раза выезжали наблюдать полные затмения Солнца: 30 июня 1954 года в Шилуте (Литовская ССР), 15 февраля 1961 года в Камышин (на Волге), 22 сентября 1968 года в Шадринск (на Урале), 10 июля 1972 года в Оссору (на Камчатке). Проводятся наблюдения затмений Луны, во время которых регистрируются моменты контактов тени Земли с лунными кратерами, а также наблюдения покрытий звезд Луной.

Члены астрономической секции занимаются и вычислением эфемерид малых планет. Эта работа согласована с Институтом теоретической астрономии АН СССР и Астрономической обсерваторией Латвийского государственного университета. Результаты публикуются в «Эфемеридах малых планет», «Астрономическом циркуляре» и других изданиях. На обсерватории в Сигулде сфотографированы некоторые малые планеты, кометы и метеоры. Ведутся также визуальные наблюдения метеоров.

В течение многих лет в Латвийском отделении ВАГО активно работала группа телескопостроителей под руководством инженера М. Гайлиса. Телескопостроители начали с конструирования рефлектора, параболическое зеркало которого имело диаметр 225 мм. Затем они взялись за изготовление рефлектора с диаметром зеркала 500 мм. Пока это самый большой любительский телескоп в СССР. Он назван именем профессора

Ф. Блумбаха. Телескоп, созданный Гайлисом, в 1964 году был отмечен премией имени Е. Н. Кононенко, которую Центральный совет ВАГО ежегодно присуждает за лучшие работы по астрономии, выполненные любителями.

Важное место в деятельности отделения занимают исследования по истории астрономии. Фольклор помог воссоздать представления древних народов, населявших территорию Латвии, о небесных явлениях. Более поздняя эпоха нашла свое отражение в исторических публикациях, посвященных Елгавской обсерватории, обсерватории в Рижском замке. Немало издано книг и брошюр о жизни и творчестве выдающихся ученых, которые работали в Латвии. Проведены исследования истории латвийского календаря, описаны метеориты, упавшие на территорию Латвии.

Уже более двадцати лет Латвийское отделение ВАГО совместно с Радиоастрофизической обсерваторией АН ЛатвССР издает астрономический календарь на латышском языке.

Геодезическая секция объединяет специалистов, работающих в разных отраслях народного хозяйства. Один из самых важных и интересных вопросов, которым занимаются ее члены, — изучение вертикальных движений земной коры на территории, прилегающей к водохранилищу Плявиньской ГЭС. Геодезистам предстоит выяснить, деформируется ли земная поверхность после заполнения водохранилища, объем которого около 630 млн. куб. м. Результаты этой работы дадут ценную информацию для строительства гидроэлектростанций в будущем, учитывая, что подобные ис-



следования проводятся в СССР впервые.

Строительство промышленных зданий в Риге требует тщательнейшего исследования проблемы осадок. Такие исследования ведутся геодезическими методами, путем точной нивелировки. Для этого необходимо создать сеть исходных точек — реперов. По предложению членов геодезической секции разработана программа наблюдений осадок зданий и перспективная схема размещения реперов, которую в настоящее время используют многие производственные предприятия.

В ведущих проектных организациях республики начинает применяться вычислительная техника при обработке геодезических данных. Создается система, которая позволит автоматизировать математическую обработку любых геодезических наблюдений.

За последние годы значительно возросла роль геодезической секции в популяризации современных достижений геодезии и повышении квалификации молодых специалистов. В 1970 году секция организовала курсы программирования, в 1972 году совмест-

Много лет возглавлял геодезическую секцию Латвийского отделения ВАГО Людвиг Озол (1895—1968)

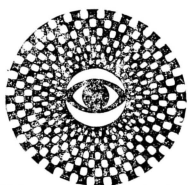
но с Министерством строительства ЛатвССР — республиканский семинар по вопросам инженерной геодезии в строительстве. С участием Политехнического института проведен семинар, на котором обсуждались проблема осадок зданий и методы геодезических наблюдений за деформацией строительных объектов.

Чтобы повысить активность членов геодезической секции, а также отметить заслуги занимавшего много лет пост председателя секции Л. Озола, Латвийское отделение ВАГО учредило поощрительную премию имени Л. Озола. В 1972 году эта премия в первый раз была присуждена коллективу кафедры геодезии Латвийской сельскохозяйственной академии за исследования вертикальных движений на геодинамическом полигоне Плявиньской ГЭС.

Члены геодезической секции начали исследования по истории геодезии в Латвии. Они собирают старинные геодезические инструменты, книги и другие материалы для будущего музея геодезии и картографии.

В 1972 году Латвийское отделение ВАГО отметило свое 25-летие. Результаты работы отделения за 25 лет — это хорошая основа для еще больших успехов в будущем.

Председатель Латвийского отделения ВАГО
кандидат физико-математических наук
М. А. ДИРИКИС
Руководитель геодезической секции Латвийского отделения ВАГО
Я. М. КЛЕТНИЕКС
Секретарь Латвийского отделения ВАГО
кандидат физико-математических наук
Ю. Л. ФРАНЦМАН



ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ
АСТРОНОМИЯ

Малые телескопы, изготавливаемые в СССР

По просьбе читателей редакция публикует статью, в которой рассказывается, какие телескопы производят в нашей стране для любителей астрономии, что можно наблюдать в эти инструменты и где они продаются.

В нашей стране выпускаются две модели **школьных телескопов** — телескоп-рефрактор на параллактической установке и телескоп-рефрактор на азимутальной установке. Их изготавливает завод школьного приборостроения в городе Загорске Московской области. Приобрести инструменты можно по безналичному расчету и за наличные деньги в магазинах учебных и наглядных пособий, которые есть во всех областных центрах страны. Цена первого телескопа 112 рублей 30 копеек, второго — 66 рублей 60 копеек. Что же это за инструменты?

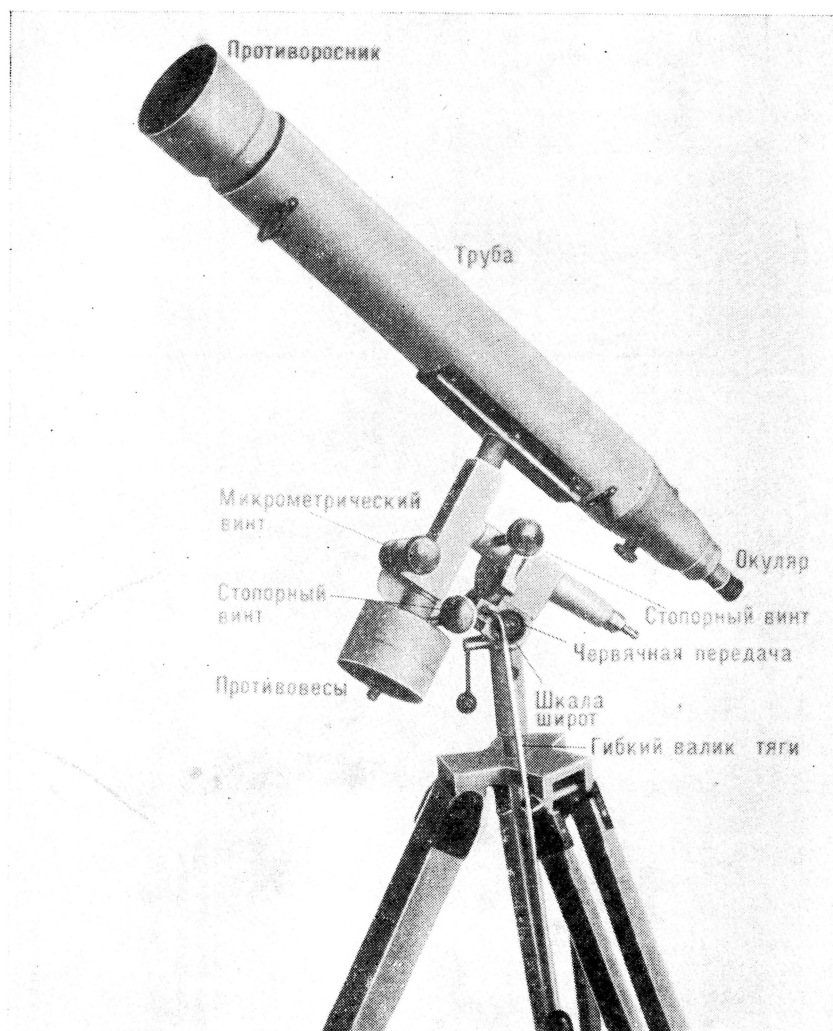
Телескоп-рефрактор на параллактической установке имеет объектив диаметром 80 мм с фокусным расстоянием 800 мм. Объектив двухлинзовый: одна линза — положительная двояковыпуклая, сделана из крона, другая — отрицательная менисковая из флинта. Благодаря трем тонким алюминиевым прокладкам, наклеенным на менисковую линзу, между линзами объектива сохраняется постоянный зазор.

К телескопу прилагаются три окуляра: два — типа Кельнера с фокусным расстоянием 28 и 20 мм и симметричный окуляр с фокусным расстоянием 10 мм. Окуляры Кельнера трехлинзовые. Две линзы, которые обращены к глазу, склеены между собой. Это — положительная двояковыпуклая линза из баритового крона и отрицательная менисковая из флин-

та. Третья — одиночная линза окуляра сделана из крона. Симметричный окуляр состоит из двух одинаковых

 *Телескоп-рефрактор на параллактической установке*

пар линз. В каждой паре имеется положительная двояковыпуклая линза из крона и отрицательная менисковая линза из флинта. С этими окулярами телескоп позволяет получать увеличения в 28, 40 и 80 раз при поле зре-



ния от $1^{\circ}35'$ до $30'$. Окуляры вставляются в муфту, которая выдвигается из трубы телескопа, когда вращаются фокусировочные винты.

Познакомимся теперь с конструкцией механической части телескопа. Труба телескопа крепится к оси склонений параллактической головки. Свободное вращение трубы вокруг оси склонений может останавливаться стопорным винтом, после чего микрометрическим винтом осуществляется более точная наводка. На другом конце оси склонений телескопа по винтовой резьбе передвигаются противовесы.

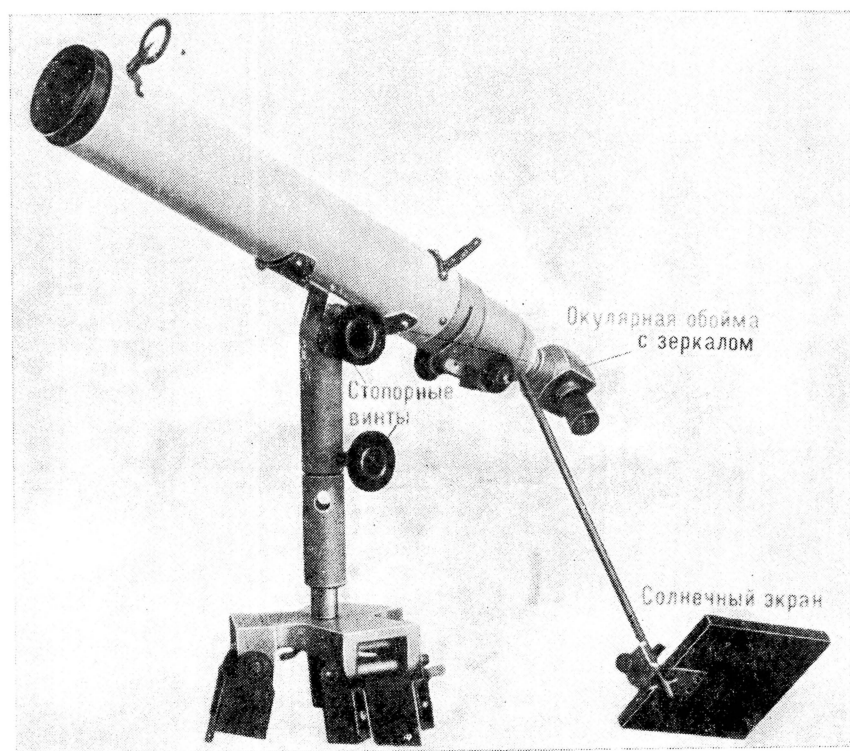
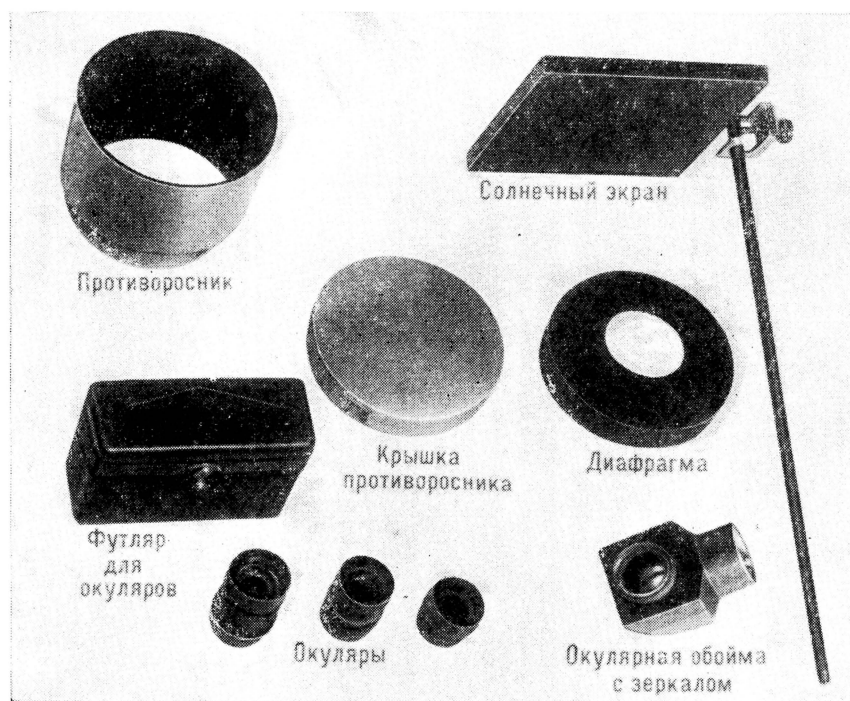
Втулка оси склонений жестко прикреплена к часовой оси. Свободное движение трубы телескопа вокруг часовой оси стопорится винтом, а затем трубу можно медленно поворачивать вокруг часовой оси, вращая червячную передачу.

При наблюдениях не всегда легко дотянуться рукой до червячной передачи, поэтому телескоп снабжен специальной тягой с гибким валиком, который надет на ось червячной передачи. С помощью тяги можно непрерывно гидировать трубу телескопа за небесными светилами на протяжении 6 часов. Потом червячный сектор необходимо вернуть в исходное положение и вновь направить трубу телескопа на избранный объект.

Часовая ось проходит внутри кронштейна, на котором укреплена шкала

■ Принадлежности к телескопу-рефрактору

■ Телескоп-рефрактор на азимутальной установке. Телескоп подготовлен к наблюдениям Солнца



широт. На ось этой шкалы надета муфта для установки параллактической головки на широту места наблюдений.

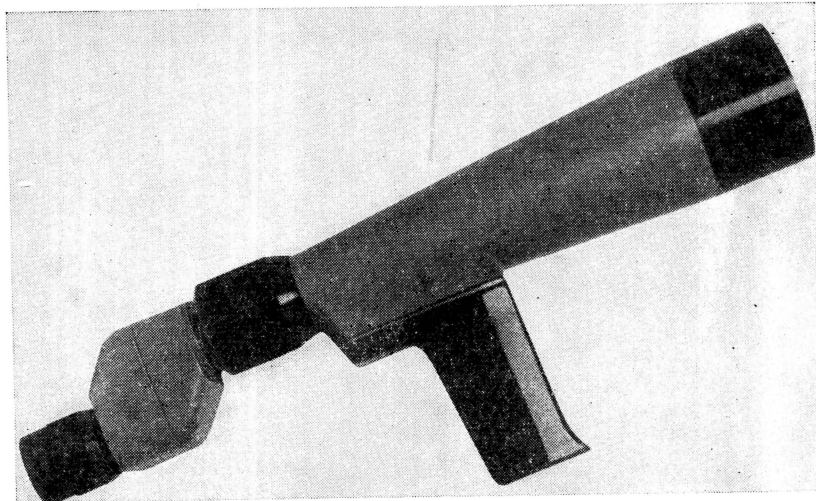
Телескоп имеет ряд принадлежностей, облегчающих наблюдения и расширяющих их тематику. Так, окуляры телескопа снабжены специальными темными фильтрами, через которые можно проводить визуальные наблюдения Солнца. Чтобы уменьшить световой поток солнечных лучей, попадающих в телескоп, объектив следует обязательно закрыть диафрагмой.

Солнце можно также наблюдать в проекции на экране. Солнечный экран укреплен на штанге, которая ввинчивается в окулярную часть трубы. Направить солнечные лучи на экран помогает окулярная обойма с зеркалом. Она же используется и при наблюдениях светил в зенитной области.

Трубу телескопа защищает от попадания в нее посторонних лучей или влаги противоросник. Он надевается на переднюю часть трубы.

Сейчас телескоп модернизируется. Изменена конструкция параллактической головки. Телескоп можно будет устанавливать не только на треногу, но и на облегченную колонну. Последнее обстоятельство очень важно, поскольку инструмент будет работать в стационарных условиях. Улучшена конструкция окулярной части трубы. С модернизированным телескопом удастся проводить и фотографические наблюдения, используя малоформатные фотокамеры типа «Зенит».

Телескоп-рефрактор на азимутальной установке имеет объектив диаметром 60 мм с фокусным расстоянием 600 мм. Объектив выполнен по



той же схеме и из тех же сортов стекла, что и объектив 80-миллиметрового рефрактора.

К телескопу прилагаются два окуляра: окуляр Кельнера с фокусным расстоянием 20 мм и симметричный окуляр с фокусным расстоянием 10 мм. С этими окулярами телескоп дает увеличения в 30 и 60 раз при поле зрения $1^{\circ}30'$ и $40'$, соответственно.

Зрительная труба привинчена к вилке с отверстиями для стопорного винта, который одновременно служит горизонтальной осью. Винт прижимает вилку к верхней части корпуса азимутальной головки. В нижней ее части имеется вертикальное коническое отверстие для насадки на выступ штатива-треноги. Этот выступ является вертикальной осью вращения трубы. Нижний стопорный винт фиксирует положения трубы при ее вращении вокруг вертикальной оси.

Чтобы навести трубу телескопа на небесный объект, нужно вначале «ослабить» оба стопорных винта. Если затем винты слегка закрутить, то труба телескопа удерживается в заданном направлении, но в то же время ее можно без особых усилий смещать вслед за уходящими из поля зрения светилами.



Зрительная труба ЗРТ-460

Телескоп снабжен теми же принадлежностями, что и телескоп-рефрактор на параллактической установке.

Кроме школьных телескопов в нашей стране выпускаются еще **зрительные трубы**. В отличие от телескопов, они строят не перевернутые, а прямые изображения наблюдаемых объектов за счет применения призм или дополнительных линз.

Оптическая промышленность освоила несколько моделей зрительных труб. В магазинах кинофототоваров бывают в продаже зрительные трубы ЗРТ-457 и ЗРТ-460. Их цена 90 и 70 рублей.

У трубы ЗРТ-457 диаметр объектива 70 мм, поле зрения $1^{\circ}10'$ и $49'$, увеличение в 30 и 60 раз. Диаметр объектива трубы ЗРТ-460 равен 50 мм, поле зрения $3^{\circ}12'$, увеличение в 50 раз.

Какие же небесные объекты можно наблюдать в школьные телескопы и зрительные трубы?

В астрономии возможности телескопов принято оценивать по их оптической мощи и разрешающей силе. Оптическую мощь телескопов удобно характеризовать величиной предельно слабых звезд, которые можно наблюдать с данным инструментом. Если D — диаметр объектива телескопа, выраженный в миллиметрах, то предельная звездная величина едва различимых в телескоп звезд рассчиты-

Сtereo- фотографии Луны

вается по формуле: $m = 2,1 + 5 \lg D$. Приводим предельные звездные величины для телескопов с различным диаметром объектива:

диаметр, мм	звездная величина, m
30	9,5
50	10,6
60	11,0
70	11,3
80	11,6
100	12,1
150	13,0

Разрешающая сила телескопа характеризуется предельно малым углом между двумя светящимися точками, которые еще могут быть разделены при наблюдениях. Оптика хорошо рассчитанного телескопа должна разрешать углы до $\frac{140''}{D}$ секунд дуги,

где D — диаметр объектива в миллиметрах. Школьные телескопы и зрительные трубы отличаются высоким качеством оптики и способны разрешать углы, близкие к теоретическому пределу.

Однако окончательное суждение о разрешающей силе телескопа следует давать на основе наблюдений двойных звезд. Из «Справочника любителя астрономии» П. Г. Куликовского или «Звездного атласа» А. А. Михайлова выбирают яркие пары звезд с угловыми расстояниями, близкими к пределу разрешения. При наблюдениях этих звезд нужно пользоваться короткофокусными окулярами, ибо разрешающая сила телескопа может быть реализована, лишь когда наблюдения проводятся с большими увеличениями. Если невооруженный глаз способен различить звезды, расстояние между которыми составляет $120''$, а

разрешающая сила телескопа равна δ , то увеличение n должно быть таким, чтобы $n\delta \geq 120''$. При меньших увеличениях двойные звезды не воспринимаются глазом как отдельные компоненты, хотя оптика телескопа в принципе позволяет разрешать их. Так, оптика зрительной трубы ЗРТ-460 должна давать разрешения до $140''/50 = 2'',8$ (в паспорте предел разрешения до $3''$), но при увеличении в 20 раз угловое расстояние, равное $3''$, будет видно в трубу под углом $60''$, то есть под меньшим углом, чем требуется для разрешения глазом. В школьных телескопах и в ЗРТ-457 короткофокусные окуляры дают увеличения, близкие к необходимым для реализации их разрешающей силы.

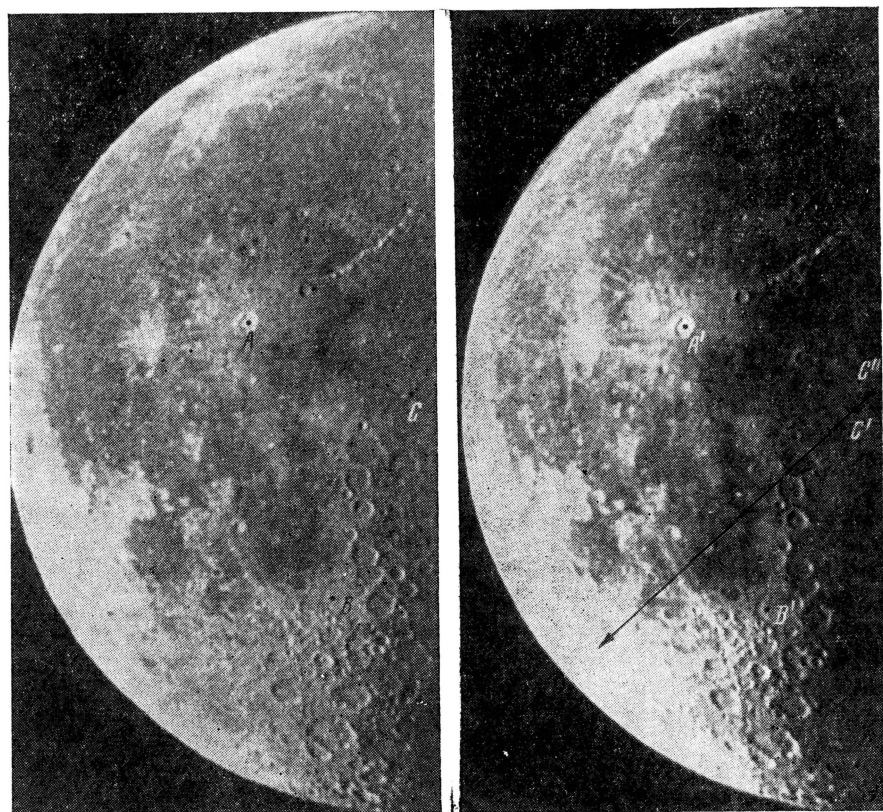
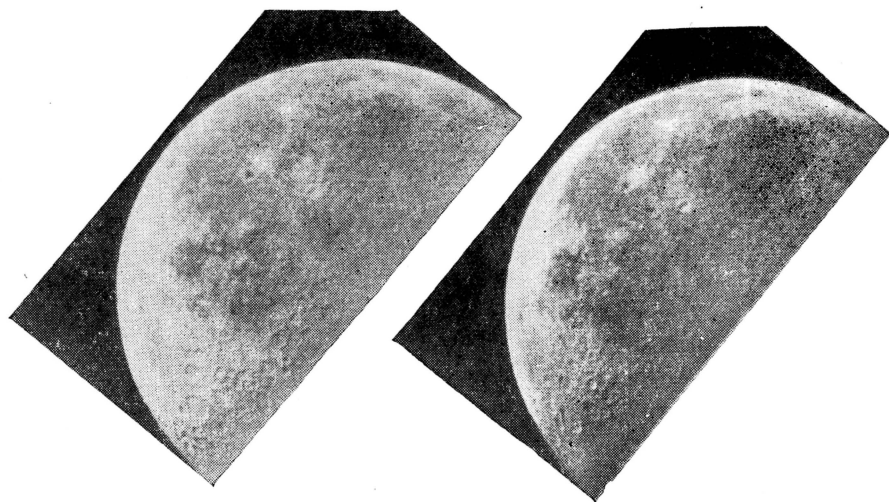
Определив на основании наблюдений двойных звезд реальную разрешающую силу телескопа, можно оценить его возможности при наблюдениях Луны, Солнца, планет. Если, например, реальная разрешающая способность телескопа составляет $3''$, то при наблюдении Луны (угловой диаметр около $1800''$, а линейный 3476 км) можно надеяться рассмотреть детали, линейные размеры которых $3''$. ($3476 \text{ км} : 1800'' \approx 6 \text{ км}$). Наблюдая Марс в противостояниях (угловые диаметры $14''$ — $25''$, линейный 6770 км), удастся разглядеть детали с линейными размерами 1400 — 800 км.

Начинающие любители астрономии, которые располагают телескопом или зрительной трубой, должны помнить, что возможности оптики раскрываются не сразу, а в результате тщательной тренировки и приобретения опыта в наблюдениях.

Доцент
А. Д. МАРЛЕНСКИЙ

Если сравнить две фотографии Луны в одной и той же фазе, но сделанные с месячным интервалом, то детали поверхности на снимках могут оказаться слегка сдвинутыми. Это происходит в основном потому, что Луна неравномерно движется по эллиптической орбите, а ось вращения Луны не перпендикулярна к плоскости ее орбиты. И хотя периоды вращения Луны вокруг оси и вокруг Земли одинаковы, земной наблюдатель может «заглядывать» то за один край видимого полушария Луны, то за другой. Используя это явление, названное оптической либрацией, можно получить стереоскопическое изображение Луны.

Я фотографировал Луну аппаратом «Зенит», укрепленным на самодельном телескопе-рефракторе. Объектив телескопа — ахромат диаметром 80 мм с фокусным расстоянием 800 мм; окуляр взят от зрительной трубы «Турист». Снимал я Луну 2 и 30 сентября 1972 года приблизительно в одной и той же фазе (последняя четверть). Чтобы два снимка, сделанные с месячным интервалом, можно было рассматривать как стереопару, необходимо определить направление либрационного сдвига Луны за этот период. Выберем на снимке, полученном 2 сентября, три базисные точки (см. нижний рисунок на стр. 78). Одна может совпадать, например, с кратером Коперник (обозначим ее А), другая — с кратером Деландр (В), третья — с центром видимого диска (С). На снимке Луны от 30 сентября точку С', соответствующую С, можно найти, предположив равенство треугольников АВС и А'В'С' в плоскости чертежа. Погрешность, вносимая по-



■
Стереопара Луны, полученная московским любителем астрономии Ю. К. Любимовым

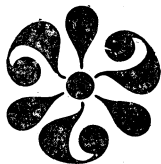
■
Определение либрационного сдвига Луны со 2 сентября (левый снимок) по 30 сентября 1972 года. Стрелка указывает направление либрационного сдвига

добным допущением, невелика, ибо все точки лежат далеко от края диска. На фотографии, полученной 30 сентября, найдем также центр видимого диска Луны — точку C'' . Линия, соединяющая C'' и C' , укажет направление либрационного сдвига. Если теперь расположить оба снимка так, чтобы они имели общую горизонтальную ось — линию либрационного сдвига, а второй снимок находился бы справа, то получится стереопара.

Стереопару можно рассматривать обычным способом — «сведением глаз» или одновременно в две лупы с фокусным расстоянием около 15 см. А если отпечатать негативы на позитивную пленку (или если Луна снималась на цветную обратимую пленку), то диапозитивы можно рассматривать в стереоскоп. Его нетрудно изготовить самому, склеив два обычных фильмоскопа. Придется еще сделать из картона рамки для диапозитивов и расположить в них пленку под таким наклоном, чтобы линия либрационного сдвига была горизонтальной.

Луну, которая предстанет в этом стереоскопе, не видели даже астронавты «Аполлона». Такой она могла бы явиться только фантастическому существу, расстояние между глазами которого около 20 000 км! Именно таков стереобазис, соответствующий данному либрационному повороту Луны.

Кандидат технических наук
Ю. К. ЛЮБИМОВ



ОТВЕТЫ
НА ВОПРОСЫ
ЧИТАТЕЛЕЙ

В одной из гипотез о происхождении Луны говорится, что образовалась Луна путем отрыва от Земли. Причем не сразу оторвалась, а сначала вытягивалась в «грушу». Почему же тогда считают местом «отрыва» Тихий океан? Ведь на этом месте должен быть материк, а не впадина. Может быть, на Луне есть «слепок», отдаленно напоминающий кусок рельефа одного из материков (учитывая вращение Земли где-то в районе экватора)? Конечно, можно возразить: материки возникли потом, после Первоокеана, но все равно что-то должно остаться (или все сгладилось, ведь шар раскален). В чем я не прав?

Студент Уральского политехнического института имени С. М. Кирова
Ю. ИСУПОВ

По просьбе редакции на вопросы отвечает кандидат физико-математических наук Е. Л. РУСКОЛ (Институт физики Земли АН СССР).

Итак, автора письма смущает собственное критическое отношение к гипотезе отрыва Луны от Земли: ведь должна же быть у нее какая-то более глубокая научная основа! Однако следует сказать, что отсутствие логики в данной гипотезе отмечено правильно. Уже не раз ученые XX века подписывались под «некрологом» гипотезы отрыва Луны от Земли. И все-таки в популярных обзорах эту гипотезу обычно упоминают наряду с другими. Время от времени делаются даже попытки возродить ее в измененной форме.

Возникновение гипотезы отделения Луны от Земли в конце XX века исторически можно объяснить. Во-первых, расчеты Дж. Дарвина приливной эволюции лунной орбиты показали, что в прошлом Луна должна была находиться значительно ближе к Земле,

чем сейчас, хотя Дарвин никоим образом не доказал (и не смог бы доказать), что Земля и Луна были когда-то единым телом. Во-вторых, из работ по механике жидких вращающихся масс следовало, что при постепенном ускорении вращения возможна эволюция однородного трехосного эллипсоида в грушевидное тело, которое затем плавно разделяется на два компонента. В-третьих, геологи считали, что впадина Тихого океана отличается по строению и происхождению от впадин других океанов Земли. И наконец, по средней плотности ($3,34 \text{ г/см}^3$) Луна близко напоминала вещество земной мантии, но не вещество Земли в целом, которое при нормальном давлении имело бы плотность $4,6 - 4,7 \text{ г/см}^3$, если считать ядро Земли железным.

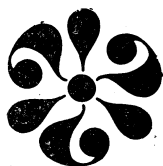
Дальнейшее развитие астрономии, механики, геофизики и космических исследований лишило гипотезу отрыва Луны от Земли всех перечисленных выше аргументов. Проследим, как это происходило.

Аргумент первый. Отрыв Луны от Земли можно было допустить, только если бы в прошлом Земля была ротационно неустойчивой (то есть центробежная сила на ее экваторе равнялась бы силе притяжения) и если бы к тому же орбита Луны в прошлом лежала в плоскости земного экватора. Согласно современным, более точным, чем у Дарвина, расчетам приливной эволюции лунной орбиты, ни одно из этих условий не выполняется. В прошлом, как и сейчас, плоскость лунной орбиты не совпадала с плоскостью земного экватора. Минимальный угол между этими плоскостями равнялся 10° , когда расстояние

центра Земли от центра Луны составляло около 10 земных радиусов. При более близких расстояниях тел в прошлом угол наклона был больше. Расчеты исключают возможность объединения в прошлом Земли и Луны в одно тело — между ними существует некоторое теоретическое «расстояние теснейшего сближения» («Земля и Вселенная», № 5, 1965 г., стр. 2—10).

Тем не менее, если представить себе единое тело, образованное слиянием Земли и Луны с сохранением момента количества движения системы Земля—Луна, то мы получим Землю, масса которой была бы на 1,3% больше современной, а период вращения около 5 часов. Ротационная неустойчивость требует гораздо более быстрого вращения — с периодом, не превышающим 2,6 часа. Учет «раскачки» Солнцем приливного выступа на Земле, вызванного солнечным притяжением, также показал невозможность образования на Земле грушевидного выступа, необходимого для отрыва Луны.

Аргумент второй. Применение механики вращающихся жидких масс к космогонии (образование двойных звездных систем путем деления, образование системы Земля—Луна) было зачастую основано на математических ошибках и недоразумениях. Их критический анализ сделан известным английским исследователем Р. Литтлтоном (см., например, «Вопросы космогонии», т. 7, 1960 г.). Курьезно, что в 1969 году тот же Литтлтон, указывая на невозможность разделения единой вращающейся жидкой массы на два тела с отношением масс $81 : 1$, как у Земли и Луны, предложил «исправленный» вариант гипотезы от-



ОТВЕТЫ
НА ВОПРОСЫ
ЧИТАТЕЛЕЙ

деления. В этом варианте первичная жидкая масса при вращательной неустойчивости разделяется на Землю и Марс с отношением масс компонентов 10:1. Из «перешейка» между компонентами собирается круглая «капля» — будущая Луна, которая непонятным образом попадает на околоземную орбиту, а Марс и Земля занимают подходящие им места в Солнечной системе. Гипотеза Литтлтона совершенно не убедительна с точки зрения небесной механики: орбиты Земли и Марса почти круговые, нигде не пересекаются — ничто не свидетельствует об их разделении из единой массы.

В противоречии с геофизикой и физикой Луны находится представление о том, что Земля и Луна были когда-то сплошь расплавленными. Земля бы при этом расслоилась, и в ней прекратились бы тектонические движения — она стала бы «тектонически мертвой», чего нет на самом деле. То же самое можно сказать и о планете Марс. Луна же, хотя и близка сейчас к состоянию тектонического покоя, также не могла быть когда-то сплошь расплавленной, потому что ее базальты ни по возрасту, ни по химическому составу не могут быть продуктами единого «котла».

Аргумент третий. Современные геофизические исследования дна океанов показали, что впадина Тихого океана ничем существенно не отличается от впадин других океанов, поэтому приписывать Тихому океану какое-то особое происхождение нет оснований.

Аргумент четвертый (и самый веский!). Совпадение средней плотности Луны с плотностью земной мантии до

последнего времени использовалось для «возрождения» гипотезы отделения Луны от Земли. Но в 1970 году исследования образцов лунного вещества, доставленного на Землю, подвергли сомнению любой вариант отрыва Луны от мантии Земли.

На поверхности Луны огромные пространства залиты базальтами, сходными с земными, а на глубинах в десятки километров сейсмика «прощупывает» породы, подобные ультраосновным породам мантии Земли. Однако отличия химического состава лунных и земных базальтов таковы, что те и другие базальты не могут быть продуктами одной и той же тепловой и химической эволюции, как было бы, если бы Луна представляла собой кусок земной мантии, отделившейся после образования земного ядра. Отличия проявляются и в содержании низкоплавких (летучих) веществ, которыми Луна сильно обеднена, и в содержании элементов, которые в геохимических процессах являются как бы спутниками железа.

Остается добавить, что на Луне не обнаружено никакого «слежка» с земного рельефа. Происхождение земных океанов в настоящее время представляют как постепенное заполнение впадин водой, выделяющейся из земных недр в процессе химической эволюции планеты. Происхождение Луны сейчас рассматривают как образование тела, обособленного от Земли в самом начале. Еще не затихли споры о том, где сформировался наш естественный спутник — на орбите вокруг Земли или в иных местах Солнечной системы. Динамически наиболее обоснована модель образования Луны из околоземного спутникового роя.

1 ЯНВАРЬ
ФЕВРАЛЬ
1974
И
ЗЕМЛЯ
ВСЕЛЕННАЯ

Орган Секции физико-технических и математических наук, Секции наук о Земле Президиума Академии наук СССР и Всесоюзного астрономо-геодезического общества

Главный редактор доктор физ.-мат. наук Д. Я. МАРТЫНОВ

Зам. главного редактора кандидат физ.-мат. наук М. Г. КРОШКИН

Ответственный секретарь кандидат пед. наук Е. П. ЛЕВИТАН

Член-корреспондент АН СССР Г. А. АВСЮК, доктор географ. наук А. А. АКСЕНОВ, кандидат физ.-мат. наук В. А. БРОНШТЭН, член-корреспондент АН СССР Ю. Д. БУЛАНЖЕ, доктор техн. наук А. А. ИЗOTOV, доктор физ.-мат. наук И. К. КОВАЛЬ, доктор географ. наук В. Г. КОРТ, доктор физ.-мат. наук Р. В. КУНИЦКИЙ, доктор физ.-мат. наук Б. Ю. ЛЕВИН, кандидат физ.-мат. наук Г. А. ЛЕЙКИН, академик А. А. МИХАЙЛОВ, доктор физ.-мат. наук И. Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук К. Ф. ОГОРОДНИКОВ, доктор физ.-мат. наук Г. Н. ПЕТРОВА, доктор геол.-мин. наук Б. А. ПЕТРУШЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук В. В. РАДЗИЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук Ю. А. РЯБОВ, доктор техн. наук К. П. ФЕОКТИСТОВ, доктор геол.-мин. наук Ю. М. ШЕЙНМАНН

Адрес редакции: 117333, Москва В-333, Ленинский пр., д. 61/1, тел. 135-64-81, 135-63-08

Художественный редактор Л. Я. Шимкина

Корректоры: Г. Н. Нелидова, А. Н. Федосеева

При перепечатке ссылка на журнал «Земля и Вселенная» обязательна.

T-01710. Подписано в печать 21/I 1974 г.
Сдано в набор 30/X 1974 г.
Формат бум. 84×108/16. Бум. л. 2,5.
Печ. л. 50(8,4). Уч.-изд. л. 9,1.
Тираж 50 000 экз. Цена 40 коп. Заказ 3113

2-я типография издательства «Наука», Москва, Г-99, Шубинский пер., 10.



В 1974 году исполняется 250 лет со дня основания Академии наук СССР.

С момента своего возникновения Академия наук, объединив вокруг себя видных ученых, стала играть большую роль в прогрессе ведущих отраслей знания, в изучении природных богатств страны. С именем многих ученых, работавших в академии, связаны не только отдельные выдающиеся научные достижения, но и создание новых направлений в науке. Однако в условиях дореволюционной России научные исследования в Академии наук не могли получить широкого, всестороннего развития. В дореволюционной академии было всего несколько небольших лабораторий и музеев и не было ни одного крупного исследовательского института.

Академия наук СССР стала крупным центром развития фундаментальных исследований в области естественных и общественных наук. Она определяет стратегию научного поиска, объединяет усилия советских ученых в развитии важнейших разделов математики, механики, ядерной физики и физики твердого тела, ряда областей химии, наук о Земле, в создании квантовой электроники, в изучении и освоении космического пространства и во многих других областях современной науки и техники.

Фундаментальные исследования в области естественных наук оказывают возрастающее влияние на технический прогресс, на развитие народного хозяйства. Наука во все большей мере становится непосредственной производительной силой. Большой вклад в развитие экономики и культуры страны, в формирование марксистско-ленинского мировоззрения трудящихся вносят общественные науки. Ныне советская наука находится на передовых рубежах мировой науки.

Советские люди гордятся своей Академией наук. Она окружена вниманием, заботой партии и народа.

Из постановления Центрального Комитета КПСС
«О 250-летнем юбилее Академии наук СССР»



Жеңелі 35/12 - 55 Демосов



ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА

ЦЕНА 40 КОП
ИНДЕКС 70336